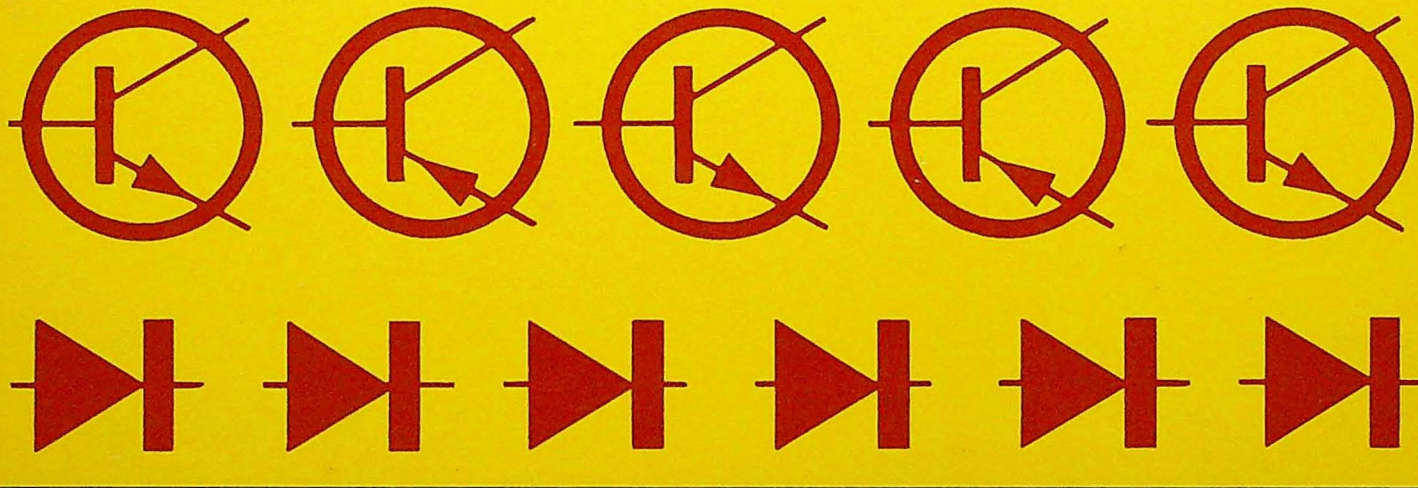


Bergtold

Elektronik-Bauelemente 1

TOPP

Fritz Bergtold

Elektronik-Bauelemente

1

Verlag Frech Stuttgart-Botnang

© 1968 Verlag und Druckerei M. Frech, Stuttgart-Botnang

Druck: Frech, Stuttgart-Botnang

Vorwort

Dieses Buch führt in die Elektronik der Steuer- und Regeltechnik ein. Die Art der Darstellung unterscheidet sich nicht unerheblich von den üblichen Einführungen in die industrielle Elektronik:
Jedes Kapitel hat ein bestimmtes Thema, und ist in sich abgeschlossen. Deshalb kann man jedes Kapitel einzeln durcharbeiten und die Reihenfolge, in der man die Kapitel durchzustudieren gedenkt, selbst bestimmen.
Lediglich dem Anfänger, der sich bislang weder mit Elektronik noch mit Elektrotechnik befaßt hat, sei angeraten, mit den ersten drei Kapiteln in der gegebenen Reihenfolge zu beginnen.
Ich gab mir alle Mühe, das Gebotene sorgfältig zu programmieren und dabei nach Möglichkeit alle Zweifel sowie Unklarheiten, die sich beim Studium ergeben könnten, von vornherein auszuräumen.
Aus diesem Grunde habe ich sämtliche Bilder selbst klischierfertig gezeichnet und den Text mit vielen Zwischenüberschriften aufgelockert.
Am Ende jedes Kapitels sind die wichtigsten Punkte herausgestellt: Der Kapitelinhalt wird hiermit zusammengefaßt und ergänzt.
Auf mathematische Darstellungen wurde verzichtet. Dennoch bin ich an den dafür geeigneten Stellen auf die zahlenmäßigen Zusammenhänge eingegangen.
Im Hinblick auf die Elektronik-Praxis werden alle Bauelemente auch in Verbindung mit Schaltungen betrachtet.
Die hier getroffene Auswahl bietet einen solchen Querschnitt durch die Elektronik der Steuer- und Regeltechnik, wie das im Rahmen dieses Buches möglich ist.
Die besondere Art dieser Einführung in die Elektronik macht Fortsetzungen möglich, ohne daß sich störende Wiederholungen ergeben oder der Leser gelangweilt wird.
Wer das Buch sorgfältig durcharbeitet, wird entdecken, daß er aus jedem Kapitel, über das jeweils behandelte Thema hinaus — grundlegende Elektronik-Kenntnisse zu erwerben vermag.
Das Buch kann mit Vorteil auch zum Nachschlagen, d. h. als Elektronik-Auskunftei genutzt werden. Dazu dienen das ungewöhnlich reichhaltige Sachverzeichnis und der Fettdruck der Stichwörter an den Nachschlagstellen im Text sowie die dort für die einzelnen Stichwörter gegebenen Erklärungen.

F. Bergtold

Inhalt

Gleichstromquelle — ihr Sinn und Zweck 9
Gleichstromquellen in Schaltungen 13
Widerstand, Widerstandswert und Leitwert 17
Einstellwiderstände und einstellbare Spannungsteiler .. 23
Heiß- und Kaltleiter 27
Photoleiter 31
Kondensator an Batterie 35
Widerstand und Kondensator als RC-Glied 39
Induktivität beim Schließen eines Gleichstromkreises .. 44
Induktivität und Freilaufdiode 48
Ventil-Diode im Einweggleichrichter 52
Transistoren zum Schalten von Relais 56
Z-Dioden für das Stabilisieren von Gleichspannungen .. 60
Transistoren in Verstärkerstufe 64
Transistoren in Gleichspannungskonstanthaltern 69
Glimmröhren in Kippschaltung 72
Sachverzeichnis 77

Gleichstromquelle - ihr Sinn und Zweck

Die Stromquelle

Ohne elektrische Leistung kann keine Schaltung betrieben werden. Die dafür notwendige elektrische Leistung stellen Stromquellen zur Verfügung. Wir müssen unser Studium deshalb damit beginnen, daß wir uns mit dem befassen, was eine Stromquelle — genauer ausgedrückt: eine Quelle elektrischer Leistung — ist und soll.

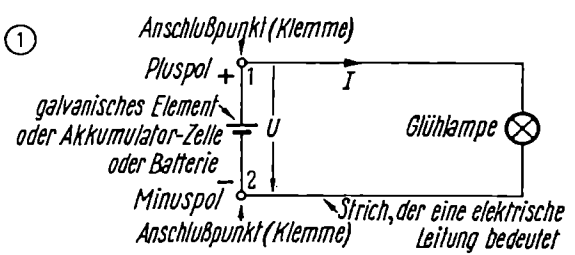
Gleichstromquellen

Die in ihrer Auswirkung einfachsten Stromquellen sind die Gleichstromquellen.
Als Gleichstromquellen gibt es außer Gleichstrom-Generatoren und Netzanschlußgeräten, die hier zunächst beiseite gelassen werden, galvanische Elemente, zu denen auch die Brennstoffzellen, sowie Akkumulatorzellen und aus ihnen zusammengesetzte Batterien gehören.
Zwischen Elementen und Akkumulatorzellen brauchen wir hier grundsätzlich nicht zu unterscheiden, zumal dafür dieselben Schaltzeichen gelten.

Ein Schaltplan

Das **Bild 1** zeigt den Schaltplan eines Gleichstromkreises mit einem galvanischen Element (einer **galvanischen Zelle**) als Gleichstromquelle und einer Glühlampe, die hieraus mit Gleichstromleistung gespeist wird. Sinn und Zweck einer Gleichstromquelle ist es, elektrische Gleichstromleistung zur Verfügung zu stellen. Dafür muß sie

1. zwei Anschlußstellen (zwei Klemmen, zwei Pole) haben, zwischen denen eine Gleichspannung besteht, und
2. so eingerichtet sein, daß sich in ihrem Inneren zwischen ihren zwei Anschlußstellen der von ihr veranlaßte Gleichstrom schließen kann.



Schaltplan eines Gleichstromkreises mit einer Zelle oder Batterie als Leistungsquelle und einer Glühlampe als „Belastung" (als Lastwiderstand).

In dem gezeigten Schaltplan **(Bild 1)** bedeutet der dünn eingetragene Linienzug, der die Schaltzeichen verbindet, die elektrischen Leitungen. In deren Verlauf sind als Schaltzeichen für das Element (bzw. für die Akkumulatorzelle) ein kurzer dicker und ein etwas längerer dünner Querstrich sowie für die Glühlampe ein kleiner Kreis mit zwei gegen den Leitungsstrich um 45° geneigten Diagonalen eingetragen.

Polung

An dem dünneren Querstrich des Schaltzeichens der Zelle steht ein Pluszeichen. Das weist darauf hin, daß die Klemmenspannung (Formelzeichen *U*) der Gleichstromquelle ein bestimmtes Vorzeichen hat. Dies drückt auch der Pfeil aus, der von der Leitung, die am Pluspol des Elements liegt, nach der anderen Leitung weist.

Zählrichtungen für Spannung und Strom

Der in Bild 1 für die Spannung eingetragene **Pfeil** besagt:
Die Spannung *U* ist die Spannung des Elementen-Pluspols gegen den Elementen-Minuspol. Man liest somit den Pfeil als „gegen".
Als zweites Formelzeichen enthält Bild 1 den Buchstaben *I* für den Strom. Auch dazu gehört eine bestimmte, hier mit einer Pfeilspitze markierte Richtung: Man hat festgelegt: Der Gleichstrom fließt außerhalb der Stromquelle von deren **Pluspol** (hier durch die Glühlampe) nach deren **Minuspol.** Der für die Spannung eingetragene Pfeil und die für den Strom in dem Leitungsstrich eingezeichnete Pfeilspitze markieren die Zählrichtungen für Spannung und Strom.
Nach Möglichkeit wählt man die **Zählrichtungen** für Gleichspannungen und Gleichströme so, daß sich damit positive Zahlenwerte ergeben, also z. B. für die Gleichspannung vom Pluspol gegen den Minuspol.
Man bezeichnet die Stromrichtung, die außerhalb der Stromquelle vom Pluspol nach dem Minuspol positiv gerechnet wird, als **konventionelle Stromrichtung.**

Formelzeichen und Einheiten

U ist das Formelzeichen der Spannung (genau genommen das Formelzeichen für den jeweiligen in Volt angebbaren Wert der Spannung).
I stellt das Formelzeichen für den in Ampere zu nennenden Wert des Stromes dar (früher einmal nannte man den Wert des Stromes **„Stromstärke"**). *I* ist die Abkürzung von Intensität.
Als Einheit für den Wert oder Betrag der Spannung hat man das **Volt** (V).
Als Einheit des Stromes dient das **Ampere** (A). (Gesprochen Ampär, zweite Silbe betont.)
Ein Element hat eine Spannung von etwas mehr als

einem Volt. Die Spannung einer Zelle eines Blei-Akkumulators beträgt rund zwei Volt.

Exakte Ausdrucksweise

Bleiben wir bei der Zelle: Der Pluspol hat gegen ihren Minuspol etwa zwei Volt Spannung. Das kann man auch so ausdrücken: ihr Minuspol hat gegen ihren Pluspol eine Spannung von ungefähr minus zwei Volt. Falls das Spannungs-Vorzeichen nicht interessiert, nennt man den Betrag die Spannung. Der **Betrag** ist stets positiv. Man sagt daher: „Die Spannung der Zelle beträgt rund 2 Volt." Der **Wert** hat hingegen — je nach dem — entweder das positive oder negative Vorzeichen.

Gleichstromleistung

Die Glühlampe wird von der an sie gelieferten Gleichstromleistung zum Glühen gebracht. Die **Gleichstromleistung** — exakt ausgedrückt: der Wert der Gleichstromleistung (Formelzeichen P) — ist das Produkt aus den Werten der Spannung und des Stromes.
Angenommen, es handle sich um eine Zelle mit einer Klemmenspannung von 2 V. Die hierzu gehörende Glühlampe habe die Aufschrift 2 V, 0,25 A. Das heißt: sie läßt bei 2 V an sie angelegter Spannung einen Strom von 0,25 A durch sich hindurch.
Die Zelle liefert somit an die Glühlampe eine elektrische Leistung von 2 V · 0,25 A = 0,5 W. Das W ist die Abkürzung von Watt. So bezeichnet man die Einheit der (elektrischen) Leistung.
Der Betrag der elektrischen Gleichstromleistung ergibt sich nämlich in **Watt** (W), wenn man den Betrag der Gleichspannung in Volt mit dem Betrag des zu ihr gehörenden Stromes in Ampere multipliziert.
Mit Formelzeichen kann man den Zusammenhang zwischen den Werten der Leistung, der Spannung und des Stromes für Gleichstrom so anschreiben:

$$P = U \cdot I$$

Leistung und Arbeit

Die Leistung ist ein Augenblickswert. Die Arbeit ist die über die Zeit integrierte Leistung. Das heißt z. B.: bei gleichbleibendem Augenblickswert der Leistung ist die Arbeit das Produkt dieses Leistungswertes mit der Zeit, während der diese Leistung auftritt. Die Einheit der Arbeit ist in der Elektronik meistens die **Wattsekunde** (W · s).

Wichtigstes über die Gleichstromquelle

- Eine Gleichstromquelle hat zwei Anschlußpunkte (Klemmen) oder Pole, zwischen denen eine Gleichspannung herrscht.
- Zwischen ihren beiden Klemmen weist die Gleichstromquelle ihre **Klemmenspannung** auf.

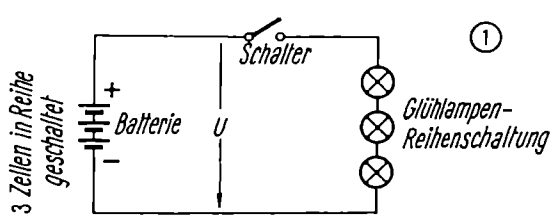
- Diese Klemmenspannung ist eine elektrische Gleichspannung, die bei Belastung der Quelle mehr oder weniger absinkt.
- Eine Gleichspannung hat eine bestimmte Polung: Eine Gleichstromquelle hat demgemäß einen „Pluspol" und einen „Minuspol".
- Aufgrund ihrer Gleichspannung treibt die Gleichstromquelle durch eine mit ihren beiden Anschlüssen an die zwei Anschlußpunkte der Gleichstromquelle angeschlossene Belastung einen Gleichstrom.
- Den Gleichstrom rechnet man außerhalb der Stromquelle in der Richtung vom Pluspol nach dem Minuspol positiv: Man sagt also: Der Strom fließt außerhalb der Stromquelle vom Pluspol nach dem Minuspol.
- Man bezeichnet diese Richtung, die man dem elektrischen Strom zugrundelegt, als konventionelle Stromrichtung.
- Daß diese Richtung der Richtung der Elektronenbewegung entgegengesetzt ist, braucht man im allgemeinen nicht zu beachten. Dies bleibt auch ohne jeden Einfluß auf die Rechnungen mit Strömen und auf die Ergebnisse dieser Rechnungen.
- Der die Belastung durchfließende Gleichstrom geht auch durch die Gleichstromquelle. Der Gleichstrom fließt somit auf einem in sich geschlossenen Weg. Diesen bezeichnet man als Stromkreis.
- Die Einheiten der Spannung, des Stromes und der Leistung sind das Volt, das Ampere und das Watt.

- Sind an der Gleichstromquelle der Pluspol mit 1 und der Minuspol mit 2 bezeichnet, so hat die Spannung 1 **gegen** 2 (U_{12}) einen positiven Wert, während die Spannung 2 **gegen** 1 (U_{21}) negativ (vom selben Betrag) ist.
- Falls außer den Beträgen auch die Vorzeichen und damit die Werte von Spannungen und Strömen interessieren, muß man die Zählrichtungen festlegen, für die die Werte gelten sollen.
- Diese Zählrichtungen legt man in Schaltplänen (wie im Bild 1) mit einseitigen Pfeilen oder für Spannungen allgemein auch mit Doppelindizes fest.
- Die Gleichstromquelle stellt Gleichstromleistung zur Verfügung.
- Der Betrag der von der Gleichstromquelle an ihre Belastung abgegebenen Leistung ist mit dem Produkt der Beträge der Klemmenspannung der Stromquelle und des Belastungsstromes gegeben.
- Die Formelzeichen sind: U für die Spannung, I für den Strom und P für die Leistung.
- Die Formelzeichen sind nicht die Zeichen für die Spannung, den Strom und die Leistung an sich sondern für die Werte dieser Größen.
- Der Wert einer Größe ist das Produkt aus der Einheit der Größe und der jeweils geltenden Zahl dieser Einheiten. Beispiel: Es heißt richtig $U = 4\text{V}$, während $U = 4$ falsch wäre.

Gleichstromquellen in Schaltungen

Reihenschaltung von Lämpchen bzw. von Widerständen

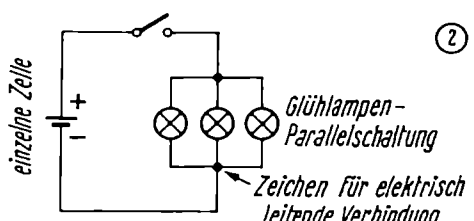
Zunächst lag nur eine Glühlampe in dem von uns betrachteten Stromkreis, der von einer Zelle gespeist wurde. Um beispielsweise drei 2-Volt-Glühlampen so zu betreiben, daß der Strom diese Lampen hintereinander durchfließen muß, genügt die Spannung einer einzelnen **Zelle** nicht mehr. Hierzu benötigt man eine **Batterie,** d.h. eine Mehrzahl in Reihe geschalteter Zellen. Die Batterie muß in unserem Fall aus drei Akkumulatorzellen bestehen **(Bild 1)**.



Schaltplan eines Gleichstromkreises, der mit einem Schalter geöffnet sowie geschlossen werden kann und als Belastung drei in Reihe geschaltete Glühlampen enthält.

Parallelschaltung von Lämpchen bzw. von Widerständen

Wollen wir drei solcher Lämpchen so anschließen, daß an jedem Lämpchen dieselbe Spannung von 2 V auftritt, müssen wir die Lämpchen parallel schalten **(Bild 2).** In diesem Fall brauchen wir eine entsprechend „leistungsfähige" Zelle. Eine Batterie ist nicht nötig, falls die Lämpchenspannung mit der Klemmenspannung einer Zelle übereinstimmt, wie das hier zutrifft.
Die Zelle muß für die Summe der drei Lämpchenströme bemessen sein. Sie wird von dem damit gegebenen Gesamtstrom durchflossen.



Schaltplan eines Gleichstromkreises mit einer Akkumulatorzelle als Quelle und drei einander parallel geschalteten Glühlampen als Belastung.

Die Klemmenspannung der Zelle darf beim Anschließen der drei parallel geschalteten Lämpchen nicht unzulässig weit absinken.
Ist die Zelle zu „schwach", so benötigt sie für sich selbst zuviel Spannung. Für die Lämpchen bleibt dann nicht genug übrig. Man beachte in Bild 2 die beiden dicken **Verbindungspunkte.** Sie zeigen an, daß die Leitungen elektrisch leitend miteinander verbunden sind.

Kurzschlußfall

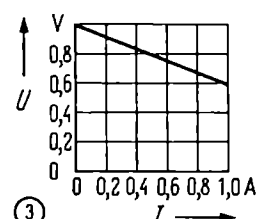
Der höchste Strom einer Batterie oder Zelle fließt, wenn deren Anschlußklemmen mit Hilfe eines kurzen dicken Kupferdrahtes unmittelbar miteinander verbunden werden. Die gesamte Batterie- oder Zellenspannung steht dann für das Durchtreiben des Stromes durch die Batterie oder Zelle zur Verfügung. Die Folge ist ein für die Batterie bzw. für die Zelle zu hoher Strom und eine verschwindend geringe Restspannung zwischen den Anschlußklemmen (Kurzschlußfall). Den sich so ergebenden Strom nennt man den **Kurzschlußstrom.**

Leerlauffall

Schließt man an die Klemmen nichts an, so ist keine Spannung nötig um durch die Batterie oder Zelle einen Strom zu treiben. In diesem Fall, den man den Leerlauffall nennt, herrscht zwischen den beiden Anschlußklemmen die höchstmögliche Spannung. Diese Spannung nennt man **„Leerlaufspannung"** oder **„Urspannung"** (Formelzeichen U_0). Früher sagte man statt dessen **„elektromotorische Kraft"** oder kurz **„EMK".**

Spannungs-Strom-Kennlinie der Stromquelle

Wir wissen bereits: Im Leerlauf, d. h. bei fehlender Belastung hat die Stromquelle ihre höchste Klemmenspannung. Wird die Stromquelle belastet, so sinkt ihre Klemmenspannung ab. Dies kann man gemäß **Bild 3** bildlich darstellen. Die dem Bild 3 zugrunde liegende Stromquelle hat eine Leerlaufspannung von 1 V. Muß diese Stromquelle einen Strom *I* von 1 A bewirken, so beträgt ihre Klemmenspannung dabei nurmehr etwa 0,6 V.
Eine Kennlinie zeigt den Zusammenhang der Werte zweier Größen. Zu den Werten jeder der beiden Größen gehört eine **Achse** des Kennlinienbildes. Man legt die eine Achse waagerecht und stellt die andere Achse



Eine Stromquellen-Kennlinie zeigt, wie deren Klemmenspannung *U* von dem Laststromwert *I* abhängt. Die Spannung, die zu *I* = 0 gehört, heißt Leerlaufspannung (Wert hier 1 V).

senkrecht. Im allgemeinen versieht man die Achsen mit Teilungen, an denen man die Werte der Größen ablesen kann. In den Teilungen zählt man von links nach rechts und von unten nach oben. Geht man beim Zählen, wie sehr häufig, von Null aus, so liegt der beiden Achsen gemeinsame **Nullpunkt** auf deren Schnittpunkt. Das Ablesen der Werte wird zweckmäßigerweise mit einem den Achsenteilungen entsprechenden **Liniennetz** erleichtert.

Stromkreis

Man bedenke: Die häufig gebrauchte Ausdrucksweise, eine Stromquelle **liefere** einen Strom, ist nicht gerade sinnvoll. Der Strom fließt nämlich stets in einem **Stromkreis.** Dieser ist in sich geschlossen. Im Stromkreis bewirkt die Stromquelle den Strom, der sich über die Stromquelle schließt. Sie **liefert** jedoch keinen Strom in den Stromkreis hinein.
Das, was sie liefert, ist elektrische Leistung. Die sogenannte Stromquelle stellt daher in Wirklichkeit, wie bereits bemerkt, eine **Quelle elektrischer Leistung** dar. Sie bewirkt aufgrund ihrer Urspannung den Strom, der in dem sie enthaltenden Stromkreis fließt.

Der Schalter

Zum wahlweisen **Öffnen** (Unterbrechen) und **Schließen** eines Stromkreises dient ein Schalter. Er wird in den Schaltplan meistens in seiner Ruhestellung eingetragen. Der Schalter muß (geschlossen) den höchsten ihn durchfließenden Strom und (offen) die höchste an ihm bei Unterbrechung auftretende Spannung aushalten.
Außer mechanisch betätigten Schaltern gibt es auch **elektronische Schalter.** In diesen wird das Schalten elektrisch veranlaßt und geschieht ohne Kontakt-Bewegungen. Im Hinblick auf elektronische Schalter sagt man statt Öffnen (oder Unterbrechen des Stromweges) **Sperren** (des Stromes), statt Schließen (des Stromweges) **Durchschalten** (des Stromes). Manchmal verwendet man statt Durchschalten auch den Ausdruck **Durchlassen.** Durchlassen ist im Hinblick auf einen Schaltbetrieb nicht eindeutig: Im **Durchlaßzustand** kann ein elektronisches Bauelement einen höheren Widerstand aufweisen. Im **Durchschaltzustand** handelt es sich stets um den Mindestwert des Durchgangswiderstandes.

Die elektrische Leitung

Als elektrische Leitungen bezeichnet man Stromwege, die die einzelnen Bauelemente oder Geräte miteinander verbinden. Die Leitungen sind Drähte, Litzen oder auf Isolierplatten aufgebrachte Streifen aus Kupfer.
Eine (elektrische) Leitung hat einen umso geringeren Widerstandswert, je dicker und kürzer die Leitung ist.

Statt von der Dicke einer Leitung spricht man von ihrem Querschnitt. Dieser wird üblicherweise in Quadratmillimetern (mm^2) angegeben.

Größere und kleinere Strom-, Spannungs- und Leistungswerte

In der Elektronik hat man es häufig mit Strömen zu tun, deren Werte weit unter 1 A liegen. Solche Stromwerte gibt man meistens in tausendstel Ampere, d. h. in **Milliampere** an — ebenso wie kleine Längen in tausendstel Metern, nämlich in Millimetern (mm). Das tausendstel Meter = mm entspricht dem tausendstel Ampere = mA. Für Spannungswerte gilt dementsprechend: 1 mV = ein tausendstel Volt = ein **Millivolt.**
In der Elektronik arbeitet man gelegentlich auch mit Spannungen über tausend Volt. Dafür verwendet man als Einheit das **Kilovolt:** 1 kV = 1000 V wie 1 km = 1000 m.
Oft kommen in der Elektronik Leistungen von tausendstel Watt in Betracht. Dafür hat man die Bezeichnung **Milliwatt.** 1 mW = 0,001 W.

Wichtigstes über Grundschaltungen von Stromquellen

- Genügt die Spannung einer Zelle bzw. eines Elementes nicht, so schaltet man mehrere Zellen bzw. Elemente als Batterie hintereinander.
- Element, Zelle oder Batterie müssen für den größten gegebenenfalls in Betracht kommenden Wert des Belastungsstromes bemessen sein.
- Schließt man an eine Gleichstromquelle eine Belastung an, die einen hohen Strom durchläßt, so wird ein entsprechend großer Anteil der Stromquellen-Spannung benötigt, um diesen Strom durch das Innere der Stromquelle zu treiben. Mit zunehmendem Belastungsstrom sinkt daher die Klemmenspannung ab.
- Die Folge des Verbindens der zwei Stromquellen-Klemmen mit einem kurzen dicken Draht wäre der (meist schädliche) Kurzschluß der Stromquelle. Dabei hätte der Strom durch das Innere der Stromquelle seinen Höchstwert. Die Klemmenspannung wäre Null.
- Diesen Strom-Höchstwert bezeichnet man als den **Kurzschlußstrom** der Stromquelle.
- Fließt durch die Gleichstromquelle kein Strom, so tritt in diesem Leerlauffall zwischen ihren Klemmen die maximale Spannung (Leerlaufspannung) auf.
- Die Leerlaufspannung nennt man — vor allem in der Elektronik — nicht mehr EMK sondern **Urspannung.**
- Zum Öffnen und Schließen eines Stromweges dient ein Schalter. Er muß für den maximal möglichen Strom und den Höchstwert der an seiner Unterbrechungsstelle auftretenden Spannung bemessen sein.
- In der Elektronik verwendet man anstelle von Schaltern mit beweglichen Kontakten vielfach elektronische Schalter (z. B. Schalttransistoren).

Widerstand, Widerstandswert und Leitwert

Widerstands-Schaltzeichen

Jeder der drei mit den Bildern 1 . . . 3 gezeigten Schaltpläne enthält ein kleines langgestrecktes Rechteck. Dieses Schaltzeichen bedeutet einen elektrischen Widerstand.
Ein Widerstand ist ein Bauelement, dessen Aufgabe darin besteht, einen jeweils bestimmten Zusammenhang zwischen dem ihn durchfließenden Strom und der dazugehörenden, an ihm auftretenden Spannung, herzustellen.

Bezeichnung

Das Wort „Widerstand" kommt daher, daß dieses Bauelement für den Durchgang des Stromes eine an ihn angelegte Spannung benötigt: Der sich dem Strom entgegensetzende Widerstand muß von der angelegten Spannung überwunden werden.
Das Wort „Widerstand" bezeichnet nicht nur ein Bauelement sondern auch die elektrische Eigenschaft, die einem solchen Bauelement charakteristisch ist.

Widerstandswert

Der Widerstandswert ist gegeben mit dem Verhältnis der Spannung zum Strom, wobei 1 V : (1 A) als ein **Ohm** (1 Ω) bezeichnet wird.
Beispiel: Bei einem Durchgang von 0,2 A herrsche an dem Vorwiderstand in Bild 1 eine Spannung von 14 V. Daraus folgen als Widerstandswert

$$14\ \text{V} : (0{,}2\ \text{A}) = 70\ \text{V} : \text{A} = 70\ \Omega.$$

Das Ohm ist die Einheit des Widerstandes. Als Abkürzung von Ohm verwendet man den großen griechischen Buchstaben Ω (Omega).

Ohmscher Widerstand

Wenn die Spannung und der ihr zugeordnete Strom innerhalb des dafür in Betracht kommenden Bereiches stets mit dem selben Verhältnis ihrer Werte auftreten, ist der Widerstandswert konstant.
Einen Widerstand, für den das zutrifft, bezeichnet man als **ohmschen Widerstand.** Man erkennt ihn daran, daß sein Widerstandswert ohne besondere Einschränkung (z. B. bezüglich der an ihn angelegten Spannung oder einer bestimmten Temperatur) angegeben wird.

Belastbarkeit

Neben dem Widerstandswert interessiert von einem als

Widerstand zu bezeichnenden Bauelement dessen Belastbarkeit. Das ist der unter normalen Bedingungen höchstzulässige Wert der sich in ihm in Wärmeleistung umsetzenden elektrischen Leistung.

Formelzeichen für den Widerstandswert

Das Formelzeichen für den Widerstandswert ist *R*, nämlich der Anfangsbuchstabe des lateinischen Wortes **Resistanz.** Es schadet nichts, wenn man sich dieses Wort merkt: Es wird in der Elektronik immer wieder verwendet.

Leitwert

Der elektrische Leitwert ist offenbar der dem elektrischen Widerstandswert entgegengesetzte Begriff: Ein Stromzweig hat für das Hindurchlassen eines elektrischen Stromes (für das Leiten dieses Stromes) einen umso höheren Wert, je geringer der Widerstandswert dieses Stromzweiges ist.
Als Formelzeichen für den Leitwert hat man G gewählt. Das ist nicht der Anfangsbuchstabe eines lateinischen Wortes. Lateinisch ausgedrückt heißt Leitwert **Conductanz,** was man sich jetzt noch nicht zu merken braucht.

Leitwert und Widerstandswert

Aus den Werten des Stromes und der Spannung errechnet man den Leitwert, indem man den Stromwert durch den Spannungswert teilt.
Bevor wir zu rechnen beginnen, müssen wir zur Kenntnis nehmen, daß die Einheit des Leitwertes das **Siemens** (abgekürzt S) ist und daß ein Siemens dasselbe bedeutet, wie ein Ampere je Volt.
Rechenbeispiel: Ein Stromzweig lasse unter Wirkung einer an ihn angelegten Spannung von 10 V einen Strom von 0,5 A durch. Er hat demgemäß einen Leitwert von 0,5 A : (10 V) = 0,05 S = 50 mS. Das m (milli) bedeutet Tausendstel. 50 Millisiemens sind 50 tausendstel Siemens (man denke wieder an Millimeter).
Der Widerstandswert unseres Stromzweiges ist gegeben mit 10 V : (0,5 A) = 20 Ω.
Wer das Vorstehende genau verfolgt hat, erkennt sofort die Richtigkeit der Gleichung.

$$1 : 20\ \Omega = 0{,}05\ \text{S}.$$

In Worten allgemein ausgedrückt heißt das: Der Leitwert ist der Kehrwert des Widerstandswertes. Ebenso ist natürlich auch der Widerstandswert der Kehrwert des Leitwertes. Das sieht mit Formelzeichen so aus:

$$\frac{I}{U} = G = \frac{1}{R} \quad \text{und} \quad \frac{U}{I} = R = \frac{1}{G}$$

Wem die Formelzeichen hier Schwierigkeiten bereiten, zerbreche sich darüber jetzt noch nicht den Kopf. Man kann die in Formelzeichen angeschriebenen Zusammenhänge ohne Nachteil vorerst beiseite lassen!

Hohe Widerstandswerte

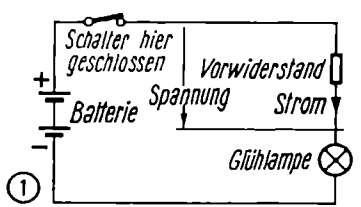
Gerade auch in der Elektronik hat man es oft mit hohen Widerständen zu tun. Deren Werte gibt man statt in Ohm in Kiloohm oder in Megohm an. Dafür gilt:
Ein **Kiloohm** (1 kΩ) bedeutet 1000 Ω
ein **Megohm** (1 MΩ) bedeutet 1000 kΩ = 1 000 000 Ω

Drei Schaltungen mit Widerständen

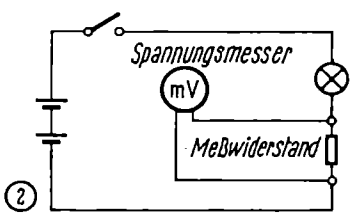
In der Schaltung nach **Bild 1** dient der Widerstand dazu, einen Teil der Batteriespannung „aufzunehmen". Man nennt einen so benutzten Widerstand häufig **„Vorwiderstand"**. Der Vorwiderstand wird hierbei so bemessen, daß auf die Glühlampe nur der Batteriespannungs-Anteil entfällt für den sie bemessen ist. Beispiel:

Batteriespannung 9 V, Glühlampenwerte 1,2 W, 6 V.
Daraus Spannung am Vorwiderstand 9 V — 6 V = 3 V.
Der Strom durch den Vorwiderstand ist der Glühlampenstrom und ergibt sich deshalb zu 1,2 W : (6 V) = 0,2 A.
Hiermit Wert des Widerstandes 3 V : (0,2 A) = 15 Ω,
Belastung des Widerstandes 3 V · 0,2 A = 0,6 W.
In der Schaltung nach **Bild 2** mißt man anstelle des Stromes, dessen Wert interessiert, die an dem ohmschen **Meßwiderstand** auftretende Spannung und gewinnt den Stromwert, indem man die gemessene Spannung durch den Widerstandswert des Meßwiderstandes teilt.
Beispiel:

Meßwiderstand 0,5 Ω
gemessene Spannung 12 mV,
daher Strom = 12 mV : (0,5 Ω) = 24 mA.

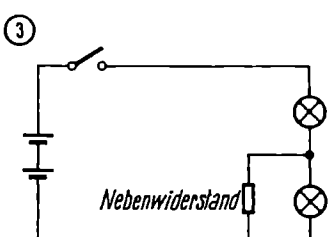


Schaltplan eines Stromkreises mit einer Batterie, einem hier geschlossen dargestellten Schalter und der Kombination einer Glühlampe mit einem Vorwiderstand.



Hier handelt es sich um das Messen eines Stromes. In der Elektronik mißt man anstelle des Stromes vielfach die Spannung, die an einem Widerstand mit bekanntem Widerstandswert auftritt.

In der Schaltung nach **Bild 3** handelt es sich darum, daß der Betriebsstrom der in dem Schaltplan unten eingetragenen Glühlampe geringer ist als der Betriebsstrom der im Schaltplan oberen Glühlampe. Der unteren Glühlampe ist deshalb ein Widerstand **nebengeschaltet (parallelgeschaltet).** Man bemißt den **Parallelwiderstand** (den **Nebenwiderstand**) so, daß er bei der betriebsmäßigen Spannung der in Bild 3 unteren Lampe den dafür überschüssigen Strom an ihr vorbeileitet. Beispiel: Batteriespannung 9 V, eine Glühlampe 6 V, 3 W, die andere Glühlampe 3 V, 1,2 W. Die hierzu gehörenden Ströme sind: 3 W : (6 V) = 0,5 A und 1,2 W : (3 V) = 0,4 A. Daher gehören zum Nebenwiderstand 3 V und 0,5 A — 0,4 A = 0,1 A. Hieraus folgen für den Nebenwiderstand als Widerstandswert 3 V : (0,1 A) = 30 Ω



In diesem Fall sollen zwei Lampen an einer Spannung betrieben werden, deren Wert gleich der Summe der beiden Lampenspannungen ist. Da die eine Lampe weniger Strom zu führen hat als die andere Lampe, muß (über einen Nebenwiderstand) der überschüssige Strom an ihr vorbeigeleitet werden.

und als in Wärme umgesetzte Leistung 3 V · 0,1 A = 0,3 W.

Widerstandswerte von Leitungen

Drähte und Kabel, aber auch Blechstreifen und Metall-Auflagen, die als Stromwege dienen sollen, nennt man allgemein (elektrische) Leitungen. Die Widerstandswerte der Leitungen müssen umso geringer sein, je höhere Ströme diese Leitungen führen sollen. Die Widerstandswerte der Leitungen fallen umso geringer aus, je kürzer die Leitungen sind und je größere Leiter-Querschnitte dem Strom zur Verfügung stehen.
Als Leitermaterial verwendet man in der Elektronik hauptsächlich Kupfer.
Kupfer ist das Material, das den elektrischen Strom mit am besten leitet. Außer dem Kupfer kommen als (elektrische) **Leiter** in der Elektrotechnik und in der Elektronik vorwiegend Aluminium und Silber in Betracht. Zu den (elektrischen) Leitern gehören aber auch alle anderen Metalle.
Die Eignung eines Materials für das Leiten des elektrischen Stromes kennzeichnet man damit, daß man entweder dessen **Leitfähigkeit** oder davon den Kehrwert, nämlich den **spezifischen Widerstand,** angibt. Das sind der Leitwert bzw. der Widerstand bezogen auf eine bestimmte Strombahnlänge und einen bestimmten Strombahn-Querschnitt.

Ausgangswiderstände von Stromquellen

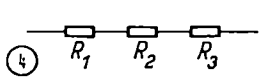
Belastet man eine Stromquelle, so heißt das, daß die Stromquelle einen Strom zu bewirken hat. Wir wissen bereits, daß die Klemmenspannung *U* der Stromquelle absinkt, wenn der von ihr verursachte Strom erhöht wird.
Grund des Absinkens der Stromquellen-Klemmenspannung ist in erster Linie die Tatsache, daß der Stromweg im Inneren der Stromquelle (wie jeder andere Stromweg) mit Widerstand behaftet ist. Diesen **inneren Stromquellen-Widerstand** bezeichnet man als **Innenwiderstand** der Quelle und in der Elektronik als ihren **Ausgangswiderstand.**

Nochmals Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen

Bei Reihenschaltung **[Hintereinanderschaltung (Bild 4)]** werden alle hierzu gehörenden Stromzweige vom selben Strom durchflossen. Der Gesamt-Widerstandswert ist die Summe der Einzel-Widerstandswerte. Bei Parallelschaltung **[Nebeneinanderschaltung (Bild 5)]** liegen alle hierzu gehörenden Stromzweige an derselben Spannung. Der Gesamtleitwert ist die Summe der Einzel-Leitwerte. Das mit der Summe der Widerstandswerte bzw. mit der Summe der Leitwerte gilt uneingeschränkt nur für ohmsche Widerstände!

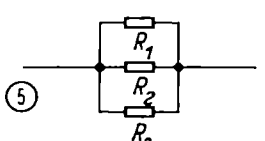
Ohmsches Gesetz?

Ohm hat herausgefunden, daß der Stromwert für manche Stromzweige genau im selben Ausmaß zunimmt, wie man die Spannung erhöht, die den Strom durch den Stromzweig treibt. Für solche Stromzweige sind Spannungs- und Stromwert einander proportional (einander verhältnisgleich).
Das, was Ohm festgestellt hat, kann man auch so ausdrücken: Es gibt Stromzweige, deren Widerstandswerte (innerhalb der für den Betrieb zulässigen Bereiche) von



durchweg derselbe Stromwert

Diese drei in Reihe liegenden Widerstände werden stets vom selben Strom durchflossen. Insgesamt kommt die Summe der drei Widerstandswerte zur Geltung.



einheitliche Spannung

Diese drei Widerstände liegen einander parallel an derselben Spannung. Insgesamt kommt die Summe der drei Leitwerte zur Geltung.

dem Wert des durchfließenden Stromes und deshalb ebenso vom Wert der angelegten Spannung unabhängig sind. (Siehe hierzu den Abschnitt „Ohmscher Widerstand" im ersten Teil dieses Kapitels). Entgegen dem, was viele Leute (sogar manche Fachleute) meinen, ist die Gleichung

$$R = \frac{U}{I}$$

keine Formeldarstellung des Ohmschen Gesetzes sondern nur die Formel, die zeigt, wie man den Widerstandswert, der zu bestimmten Werten einer Spannung und eines von ihr bewirkten Stromes gehört, ausrechnen kann.

Wichtigstes über Widerstand, Widerstandswert und Leitwert

- Das als Widerstand bezeichnete Bauelement hat den Zweck, zwischen einer elektrischen Spannung und dem unter dem Einfluß dieser Spannung durch den Widerstand fließenden Strom einen zahlenmäßig festliegenden Zusammenhang herzustellen.
- Dieser Zusammenhang ist mit dem Verhältnis der Spannung zum Strom gekennzeichnet. Dieses Verhältnis bezeichnet man als Widerstandswert.
- Den Widerstandswert gibt man in Ohm (Ω) an, womit ein Volt je Ampere gemeint ist.
- Widerstände, deren Widerstandswerte innerhalb des dafür geltenden Strom- bzw. Spannungsbereiches konstant sind, bezeichnet man als ohmsche Widerstände.
- Anstelle des Widerstandswertes kann man ebenso auch den Leitwert eines Stromzweiges nennen, um damit den Zusammenhang zwischen den Werten der angelegten Spannung und des hindurchfließenden Stromes zu kennzeichnen.
- Den Leitwert erhält man in Siemens, wenn man den Stromwert durch den Spannungswert teilt.
- Ein Siemens bedeutet nichts anderes als ein Ampere je Volt und damit den Kehrwert eines Ohm.
- Außer dem Widerstandswert interessiert von dem als Widerstand bezeichneten Bauelement der unter normalen Bedingungen geltende höchstzulässige Wert der in ihm in Wärmeleistung umgesetzten elektrischen Leistung, d. h. die Belastbarkeit des Widerstandes.
- Einen Widerstand fügt man in eine Schaltung dort ein, wo zu einem gegebenen Strom eine bestimmte Spannung erforderlich ist bzw. auftreten soll oder dort, wo eine Spannung durch ihn hindurch einen vorgegebenen Strom zu treiben hat.
- Einen Widerstand hat auch der Stromweg, der in jeder Stromquelle zwischen ihren beiden Anschlußklemmen vorhanden ist. Diesen Widerstand bezeichnet man als den **Ausgangswiderstand** der Stromquelle.

Einstellwiderstände und einstellbare Spannungsteiler

Schaltzeichen und Arten

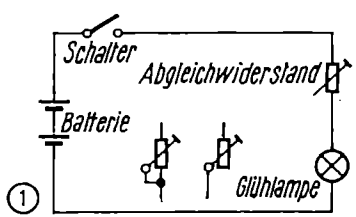
Die Bilder 1 . . . 3 enthalten je ein Widerstands-Schaltzeichen mit einem dünnen darüber hinausragenden Schrägstrich. In **Bild 1** endet dieser einseitig mit einem kleinen Querbalken, in den beiden anderen Bildern mit jeweils einer Pfeilspitze.
Der Schrägstrich deutet die Einstellbarkeit des Widerstandswertes bzw. des abgreifbaren Teils des Gesamt-Widerstandswertes an. Ein Widerstands-Schaltzeichen ohne diesen Schrägstrich bedeutet einen nicht einstellbaren Widerstand — einen (ohmschen) **Festwiderstand.** der Querbalken am Schrägstrich besagt, daß es sich um ein Bauelement zum Abgleichen oder einmaligen Einstellen handelt.
Ständig bedienbare Einstell-Widerstände kennzeichnet die Pfeilspitze.

Aufbau

Die Einstellvorrichtung besteht normalerweise aus einer Kontaktbahn, auf der ein bewegbarer Kontakt sitzt. Mit diesem kann wahlweise ein größerer oder kleinerer Teil des Gesamtwiderstandes umgangen bzw. „abgegriffen" werden (die diesem Vorgang genauer entsprechenden Schaltzeichen sind in der Mitte des Bildes 1 eingetragen).

Einstellbarer Vorwiderstand

Im Falle **Bild 1** handelt es sich um ein einmaliges Einstellen des Glühlampenstromes bei einer Batteriespannung, die den Sollwert der Glühlampenspannung übersteigt. Hier handelt es sich also um einen einstellbaren Vorwiderstand (um einen vorgeschalteten **Abgleichwiderstand).**



Die Batteriespannung ist höher als die Betriebsspannung der Glühlampe. Das gleicht man mit einem vorgeschalteten Abgleichwiderstand aus. Meistens stellt man diesen so dar, wie er in dem Schaltplan eingetragen ist. Die in dessen Mitte enthaltenen weiteren Schaltzeichen lassen erkennen, wie der Widerstand mit seinem verstellbaren Abgriff angeschlossen werden kann.

Einstellbarer Abgriff

Die Einstellbarkeit mittels eines auf einer Kontaktbahn verschiebbaren Kontaktes gibt die Möglichkeit des wählbaren Abgriffes. Damit kann man von der Gesamtspannung, die an dem Einstellwiderstand liegt, gegen eines seiner beiden Enden einen einstellbaren Bruchteil abgreifen. Das zeigen die **Bilder 2** und **3.** (Früher wurde ein so benutzter Einstellwiderstand als **„Potentiometer"** bezeichnet.)

Im Falle des **Bildes 2** besteht der Spannungsteiler-Widerstand insgesamt aus einem Einstellwiderstand. Damit überstreicht man mit der Einstellbarkeit den gesamten Spannungsbereich.

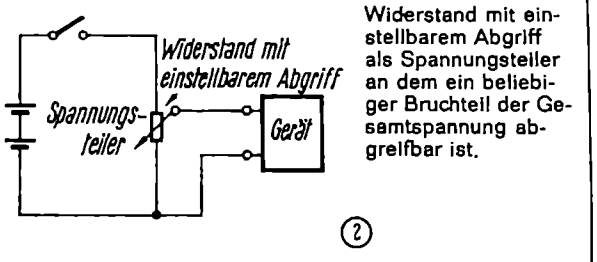
Mit den beiden Festwiderständen in der Schaltung nach **Bild 3** erreicht man ein Begrenzen des Einstellbereiches der abgegriffenen Spannung. Im verkleinerten Einstellbereich kann man so die eingestellte Spannung feiner variieren.

Stufenwiderstand

Manchmal möchte man einen Widerstandswert stufenweise verändern. Zu diesem Zweck kombiniert man oft mehrere Festwiderstände mit einem **Stufenschalter (Bild 4).** In dieser beispielsweise gezeigten Schaltung können vier verschiedene Widerstandswerte wahlweise eingestellt werden, nämlich

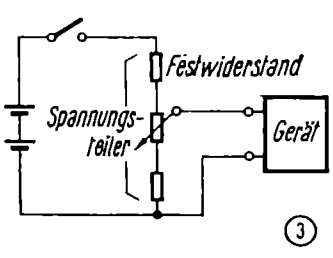
R_1 oder (R_1+R_2) oder $(R_1+R_2+R_3)$ oder $(R_1+R_2+R_3+R_4)$

In **Bild 4** ist links oben das Schaltzeichen für einen stufenweise veränderbaren Widerstand eingetragen.



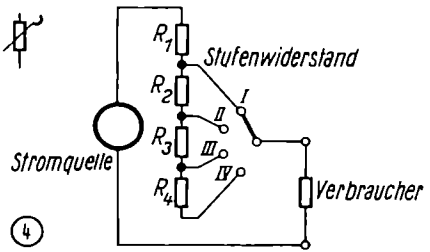
Widerstand mit einstellbarem Abgriff als Spannungsteiler an dem ein beliebiger Bruchteil der Gesamtspannung abgreifbar ist.

②



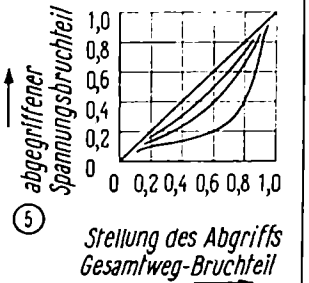
Dieser Spannungsteiler besteht aus zwei Festwiderständen und einem Widerstand mit einstellbarem Abgriff. Hiermit ist der Bereich der abgreifbaren Spannung eingeschränkt.

③



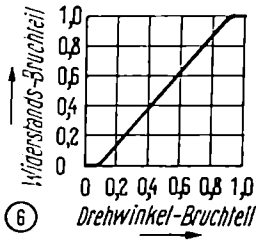
④

Eine Widerstands-Kombination, deren Widerstandswert mit einem Stufenschalter in vier Stufen variiert werden kann. Links oben das Kurz-Schaltzeichen für eine Widerstands-Anordnung mit stufenweise veränderbarem Widerstandswert.



⑤

Kennlinien für einen linear abgreifbaren Widerstand: Abgegriffene Spannung einmal unbelastet und dreimal mit jeweils einem Festwiderstand belastet.



⑥

Linear abgreifbarer Drehwiderstand, bei dem innerhalb eines Anfangs- und Endbereiches der Widerstand zwischen Abgriff und Anfang bzw. Ende des Widerstandes den Wert Null bzw. den vollen Wert hat.

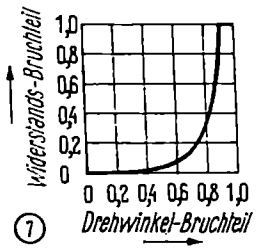
Belasteter Spannungsteiler

Schließt man an den abgegriffenen Teil eines Spannungsteiler-Gesamtwiderstandes eine Belastung an, wie z. B. das Gerät im Falle des Bildes 2, so fließt durch den nicht abgegriffenen Teil des Spannungsteilers zusätzlich der über den Abgriff gehende Strom. Dieser zusätzliche Strom senkt den Wert der abgegriffenen Spannung ab. Das veranschaulicht **Bild 5** für einen an sich idealen einstellbaren Spannungsteiler. Die schräg nach oben laufende gerade Linie betrifft den unbelasteten Spannungsteiler. Je stärker man den Spannungsteiler belastet, desto weiter hängt die Kurve durch, die den Zusammenhang zwischen der jeweiligen Stellung des Abgriffs und der abgegriffenen Spannung erkennen läßt.

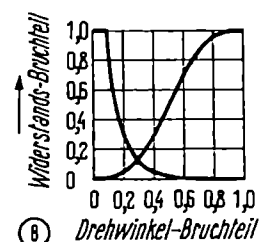
Drehwiderstände

Gemeint sind hiermit Widerstände, bei denen die Stellung des Abgriffes geändert wird, indem man die Achse verdreht, an der der Abgriff befestigt ist. Der Abgriff läuft dabei auf einer kreisförmigen Kontaktbahn. Man unterscheidet folgende Drehwiderstandsarten:
linear verstellbare Drehwiderstände **(Bild 6)**

logarithmisch verstellbare Drehwiderstände **(Bild 7)**
fallend expontiell verstellbare Drehwiderstände (von links nach rechts fallende Kennlinie in **Bild 8)**
Drehwiderstände mit **S-Kennlinie** (nach rechts ansteigende Kennlinie in **Bild 8**).
Alle solchen Drehwiderstände werden gelegentlich immer noch **Potentiometer** genannt.



⑦ Bei einem logarithmisch abgreifbaren Drehwiderstand nimmt der abgegriffene Tellwiderstand erst wenig und dann immer stärker zu, um im Endbereich auf dem vollen Wert zu beharren.



⑧ Eine Widerstands-Drehwinkel-Kennlinie, die dem Spiegelbild der Kennlinie nach Bild 7 gleich kommt, und eine zweite solche Kennlinie mit S-Form (Änderung des abgegriffenen Teils im mittleren Drehwinkelbereich am größten).

Wichtigstes über Einstellwiderstände

- Einstellwiderstände nennt man solche Widerstände, deren Werte veränderbar sind.
- Zum Verändern des Widerstandswertes dient üblicherweise ein auf einer Kontaktbahn verschiebbarer Kontakt.
- Für den Strom, der den Einstellwiderstand durchfließt, kommt die zwischen einem Widerstands-Ende und dem Widerstands-Abgriff liegende Strombahn mit ihrem Widerstand zur Geltung.
- Es gibt Widerstände, die nur selten, z. B. zum Abgleich, eingestellt werden (Abgleichwiderstände) und betriebsmäßig veränderbare Widerstände. Im Schaltzeichen kommt das mit einem Querbalken bzw. mit einer Pfeilspitze an dem (die Einstellbarkeit anzeigenden) Schrägstrich zum Ausdruck.
- Einstellwiderstände verwendet man vielfach zum Abgreifen eines Bruchteils einer Gesamtspannung, d. h. als veränderbare Spannungsteiler.
- Ein veränderbarer Spannungsteiler besteht oft außer dem einstellbaren Widerstand noch aus wenigstens einem damit in Reihe liegenden Festwiderstand.
- Drehwiderstände gibt es für verschiedene Arten des Zusammenhanges zwischen der Stellung des Abgriffes auf der Kontaktbahn und dem abgegriffenen Widerstandswert. Manche Leute gebrauchen dafür auch heute noch das Wort Potentiometer.

Heiß- und Kaltleiter

Was man darunter versteht

Heiß- und Kaltleiter sind Bauelemente, die man verwendet, um den erheblichen Einfluß, den die Temperatur auf ihren Widerstands- bzw. Leitwert hat, auszunutzen. Mit der Bezeichnung **Heißleiter** drückt man aus, daß ein solches Bauelement bei höherer Temperatur den Strom besser leitet. Der Heißleiter hat somit einen bei steigender Temperatur zunehmenden Leitwert.
Mit dem Wort **Kaltleiter** wird darauf hingedeutet, daß der Leitwert bei sinkender Temperatur zunimmt.
Die allgemeine Bezeichnung für Bauelemente mit starker Temperaturabhängigkeit des Leit- bzw. Widerstandswertes ist **Thermistor.**

Heißleiter im besonderen

Heißleiter sind durchweg Halbleiter-Bauelemente. Mit **Halbleitern** bezeichnet man Materialien, die den elektrischen Strom im allgemeinen weniger gut leiten als Metalle. Aus Halbleitermaterialien bestehen z. B. auch die Transistoren und die Dioden. Für diese beiden Arten von Bauelementen wird als Halbleitermaterial Silizium oder statt dessen auch Germanium verwendet.

Es gibt aber noch viele andere Halbleitermaterialien. Zu ihnen gehören z. B. die Materialien, aus denen die Heißleiter bestehen.
Statt Heißleiter sagt man häufig auch **NTC-Widerstand.** **NTC** ist die Abkürzung von negative temperature coefficient (negativer Widerstands-Temperaturkoeffizient). Damit wird ausgedrückt: Der Widerstandswert nimmt bei steigender Temperatur ab. Außerdem verwenden manche Hersteller von Heißleitern dafür unnützerweise eigene Bezeichnungen wie **Thernewide** oder **Newide.**

Heißleiter-Arten

Heißleiter gibt es mit sehr verschiedenen **Kaltwiderstandswerten.** (Das sind die Widerstandswerte für eine Temperatur von 20 °C oder 25 °C.) Außerdem sind Heißleiter mit stark voneinander abweichenden Werten der Belastbarkeit zu haben.
Unter der **Belastbarkeit** des Heißleiters ist der höchstzulässige Wert derjenigen elektrischen Leistung zu verstehen, die im Heißleiter als Verlust auftreten darf. Die Verlustleistung setzt sich in Wärmeleistung um und erhitzt so den Heißleiter. Die elektrische Belastbarkeit eines Bauelementes ist im allgemeinen um so höher, je größer dessen Ausmaße sind.
Heißleiter stehen für Temperaturen bis zu 350 °C zur Verfügung. Die Leit- bzw. Widerstandswerte ändern sich innerhalb eines Temperaturbereiches von 100 °C

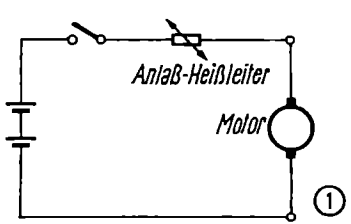
im Verhältnis zwischen 1 : 5 und 1 : 100. Bei tieferen Temperaturen ist der Temperatur-Einfluß größer als bei höheren Temperaturen. Der Widerstands-Temperaturkoeffizient liegt für Heißleiter-Temperaturen um 250 °C zwischen —0,03 je Grad Celsius und —0,055 je Grad Celsius. Das heißt z. B., daß ein Heißleiter, der bei 25 °C einen Widerstandswert von 200 Ω hat, bei 30 °C nunmehr einen Widerstandswert von

$$200\ \Omega \cdot (1—5 \cdot 0{,}04) = 160\ \Omega$$

aufweist, wenn sein Temperaturkoeffizient mit —0,04 je Grad gegeben ist.

Bezeichnungen spezieller Heißleiter

Die Heißleiter sind den verschiedenen für sie vorwiegend in Betracht kommenden Anwendungen angepaßt und dementsprechend bezeichnet:



Batteriebetriebener Motor, dem ein Anlaß-Heißleiter vorgeschaltet ist. Der Heißleiter-Kaltwiderstand ist höchstens gleich dem Motor-Wicklungswiderstand. Meistens beträgt er nur einen Bruchteil davon.

Heißleiter-Typen für hohe Belastbarkeit werden oft **Anlaß-Heißleiter** genannt, weil man diese Heißleiter-Typen bevorzugt für das Anlassen kleinerer Motoren verwendet. Dabei hat der dem Motor vorgeschaltete Heißleiter die Aufgabe, den Einschalt-Überstrom niedrig zu halten. In der Schaltung nach **Bild 1** verhindert ein Heißleiter die beim Schließen des Schalters übermäßig hohen Anfangswerte des Stromes. Nach kurzer Zeit erwärmt sich der Heißleiter so weit, daß sein Widerstand auf ein im Dauerzustand kaum noch störendes Maß abgesunken ist.

Heißleiter, die vorzugsweise als Temperaturfühler bevorzugt werden, nennt man vielfach **Meß-Heißleiter.**

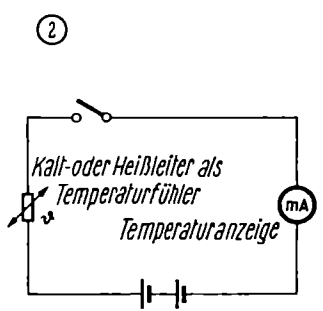
Ein **Temperaturfühler** ist ein Bauelement, das unter dem Einfluß der Umgebungstemperatur eine seiner elektrischen Eigenschaften so ändert, daß damit eine elektrische Schaltung gesteuert werden kann. Mit dieser Steuerung wird so (unter dem Einfluß der Umgebungstemperatur des Temperaturfühlers) z. B. ein Relais betätigt.

Eine Abart der Meß-Heißleiter sind die **Kompensations-Heißleiter.** Sie ordnet man in Elektronik-Schaltungen so an, daß sie möglichst genau die Temperatur eines solchen Bauelements annehmen, für das ein Temperatur-Einfluß kompensiert werden soll: Mit dem bei steigender Temperatur zunehmenden Heißleiter-Leitwert steuert man die Schaltung derart, daß damit dem störenden Temperatur-Einfluß entgegengewirkt wird.

Weiter gibt es noch **Regel-Heißleiter.** Bei ihnen verwertet man den Einfluß der Temperatur-Erhöhung, die von den durch sie hindurchgetriebenen Strömen herrührt. Die Werte dieser Ströme werden so hoch bemessen, daß die Spannung am Heißleiter beim Anstieg des Stromwertes infolge der temperaturbedingten Leitwertzunahme absinkt.
Schließlich werden auch **Heißleiter für Fremdheizung** hergestellt. Mit Hilfe des eingebauten Heizdrahtes kann der Widerstandswert des Heißleiters (über dessen Erwärmung) gesteuert werden.

Kaltleiter (PTC-Widerstände)

Als Kaltleiter dienten früher Kupfer- oder Platindrähte sowie (mit stärkerer Temperaturabhängigkeit) **Glühlämpchen,** die man mit niedriger Spannung betrieb, und Eisendrähte in Glaskolben, die mit Wasserstoffgas gefüllt waren **(Eisenwasserstoffwiderstände).**
In der Elektronik hat man als Kaltleiter jetzt wohl nurmehr spezielle Halbleiter-Bauelemente. Deren Leitwerte steigen innerhalb von Temperaturbereichen mit Breiten zwischen etwa 20 °C und 30 °C ungefähr auf das Hundert- bis Tausendfache an!
Man verwendet solche Kaltleiter vorwiegend als Temperaturfühler.
PTC ist die Abkürzung von positive temperature coefficient (positiver Widerstands-Temperaturkoeffizient).



Schaltplan für eine Temperatur-Fernmeßschaltung. Der Thermistor befindet sich an dem Ort, an dem die zu messende Temperatur herrscht. Der Wert des Batteriestromes wird von dem Thermistor-Widerstandswert beeinflußt, der von der Temperatur abhängt.

Schaltungsbeispiel

Bild 2 enthält den Schaltplan eines Stromkreises, in dem als Temperaturfühler entweder ein Kaltleiter oder ein Heißleiter eingesetzt sein kann.
Bei Änderungen der Temperatur ändert sich der Widerstandswert des Kalt- oder Heißleiters und deshalb (in entgegengesetztem Sinn) der Stromwert. Somit kann der Strommesser, mit einer Temperaturskala versehen, die am Ort des Heiß- oder Kaltleiters herrschende Temperatur anzeigen.
Im Schaltplan ist neben dem Schaltzeichen des Thermistors der kleine griechische Buchstabe Theta eingetragen. Er dient als Hinweis auf die Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes. Will man zwischen Heiß-

und Kaltleiter unterscheiden, so setzt man hinter diesen Buchstaben für den Heißleiter das Minuszeichen bzw. für den Kaltleiter das Pluszeichen (Vorzeichen der Widerstands-Temperatur-Koeffizienten).

Wichtigstes über Heiß- und Kaltleiter

- Heiß- und Kaltleiter faßt man unter der Bezeichnung Thermistoren (thermisch beeinflußbare Widerstände) zusammen.
- Heißleiter, d. h. Bauelemente, die den elektrischen Strom im heißen Zustand besonders gut leiten, bestehen aus Halbleitermaterial.
- Man nennt die Heißleiter auch NTC-Widerstände (Widerstände mit negativen Widerstands-Temperaturkoeffizienten).
- Der Heißleiter-Leitwert steigt bei einer Temperatur-Erhöhung von —20 °C bis +200 °C etwa im Verhältnis 1 : 100 bis 1 : 1000 an.
- Heißleiter verwendet man (gemäß Bild 1) als Anlaß-Heißleiter, (gemäß Bild 2) als Meß-Heißleiter sowie zum Kompensieren von Temperatur-Einflüssen auf elektrische Schaltungen und Geräte als Kompensations-Heißleiter.
- Regel-Heißleiter dienen als Hilfsmittel zum Konstanthalten von Strömen.
- Man bemißt den den Regel-Heißleiter durchfließenden Strom so, daß infolge der damit erreichten Erwärmung der Heißleiter-Leitwert stark zunimmt. Hierbei sinkt die Spannung am Heißleiter mit zunehmendem Strom ab.
- Auch bei Heißleitern, mit denen man das Anziehen oder Abfallen eines Relaisankers bewirken will, nutzt man die Eigenerwärmung des Heißleiters aufgrund des ihn durchfließenden Stromes aus.
- Es gibt auch Heißleiter mit davon isolierter Heizwicklung (fremdgeheizte Heißleiter). Diese Heißleiter dienen zum Steuern der Werte von Strömen oder Spannungen.
- Als Kaltleiter benutzte man früher Glühlampen mit schwach glühendem Glühdraht und Eisendrähte in Glaskolben mit Wasserstoffüllung (Eisenwasserstoff-Widerstände).
- In der Elektronik dienen als Kaltleiter Halbleiter-Bauelemente, deren Widerstandswerte innerhalb enger Temperaturbereiche (z. B. innerhalb eines Bereiches von etwa 20 °C bis 30 °C) bei steigender Temperatur ungefähr im Verhältnis 1 : 100 bis 1 : 1000 zunehmen.
- Die Anfangstemperaturen dieser Temperaturbereiche liegen je nach Typ z. B. bei 40, 60, 80, 120 und 180 °C.
- Die Kaltleiter werden meistens als Temperaturfühler, z. B. auch zum Kompensieren von Temperatureinflüssen auf elektrische Schaltungen und Geräte verwendet.
- Kaltleiter werden gelegentlich PTC-Widerstände genannt (positiver Temperaturkoeffizient des Widerstandswertes).

Photoleiter

Warum hier Photo und nicht Foto?

Gewiß, Foto ist modern und hat einen Buchstaben weniger. Aber: Allgemein wird für den Strom, den die Beleuchtung bewirkt, das Formelzeichen I_{ph} verwendet und das ist der Photostrom.

Was unter einem Photoleiter zu verstehen ist

Photoleiter nennt man ein Halbleiter-Bauelement mit zwei Anschlußstellen und einem Leitwert, der beim Beleuchten oder unter dem Einfluß einer Infrarot-Bestrahlung zunimmt.
Bei üblichen Photoleitern besteht die Licht- bzw. strahlungsempfindliche Schicht aus Cadmiumsulfid (CdS). Deshalb bezeichnet man solche Photoleiter manchmal auch als **CdS-Photo-Widerstände.** Manche Leute sagen statt „Photoleiter" allgemein **„Photowiderstand".** Das ist schlecht, weil der Widerstandswert bei Beleuchtung oder Bestrahlung nicht zu- sondern abnimmt.
Ein Photoleiter wird normalerweise in Reihe mit einem ohmschen Widerstand oder mit einer Wicklung oder mit einem Meßinstrument an eine Gleichspannung gelegt. Dabei läßt der Photoleiter den Gleichstrom umso besser durch, je stärker er bestrahlt ist.

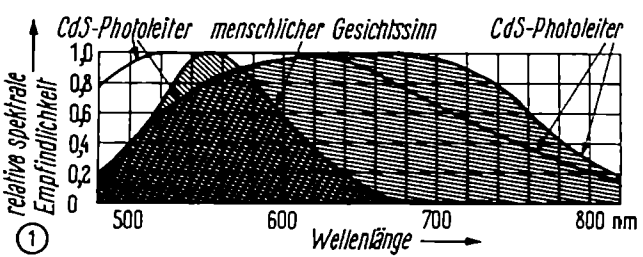
Für den Photoleiter höchstzulässige Verlustleistung

Wenn der Photoleiter von Strom durchflossen wird, tritt an ihm eine Spannung auf. Das Produkt aus den Werten dieses Stromes und dieser Spannung ist der Wert der elektrischen Leistung, die sich im Photoleiter in Wärme umsetzt und ihn so erhitzt. Hieraus ergibt sich im Photoleiter gegen dessen Umgebung eine **Übertemperatur.**
Wie wohl alle anderen Bauelemente darf ein Photoleiter nicht zu heiß werden. Mit anderen Worten: Für den Photoleiter gibt es einen oberen **Temperatur-Grenzwert,** der nicht überschritten werden darf. Aus dieser höchstzulässigen Temperatur folgt im Verein mit einer festgelegten Umgebungstemperatur (z. B. 25 °C) und den Kühlbedingungen (z. B. Photoleiter von ruhender Luft umgeben) ein höchstzulässiger Wert (ein Grenzwert) für die elektrische Leistung, die in dem Photoleiter in Wärme umgesetzt werden darf.
Je größer die Abmessungen eines Photoleiter-Typs sind, desto mehr an Oberfläche steht mit der umgebenden Luft in Berührung. Desto höhere Wärmeleistung strömt deshalb bei einer gegebenen Übertemperatur an die Umgebung ab. Das heißt: Ein Photoleiter verträgt eine umso höhere Verlustleistung je größer er ist.

Als **Übertemperatur** eines Bauelementes bezeichnet man die Temperaturspanne, um die die Bauelemente-Temperatur die Umgebungstemperatur übersteigt.

Empfindlichkeits-Spektren

Unter einem **Spektrum** versteht man eine Abhängigkeit von der Wellenlänge oder der Frequenz einer Wellenstrahlung und damit auch von der Wellenlänge des (sichtbaren) Lichtes.
Soweit es sich um (sichtbares) Licht handelt, ist dafür die spektrale Empfindlichkeit des **menschlichen Gesichtssinnes** maßgebend. „**Spektral**" heißt in diesem Zusammenhang: „für Licht einer jeweils bestimmten Wellenlänge".
Damit man sich hierbei nicht um irgendwelche Einheiten zu kümmern braucht, betrachtet man statt der Empfindlichkeiten an sich nur deren Relativwerte. Der **Relativwert** ist dabei das Verhältnis des jeweiligen Wertes zu dem für eine bestimmte Wellenlänge geltenden Maximalwert.
Die für eine bestimmte Wellenlänge geltende **relative spektrale Empfindlichkeit** eines Photoleiters ist das Verhältnis des für die Strahlung mit dieser Wellenlänge sich ergebenden Leitwertes zu dem höchsten Leitwert, der bei der dafür in Betracht kommenden Wellenlänge auftritt. (Dem ist eine Strahlung zugrunde gelegt, für die das Verhältnis der Strahlungsleistungsdichte zur Wellenlänge einen von der Wellenlänge unabhängigen Wert hat.) **Bild 1** veranschaulicht die Empfindlichkeits-Spektren zweier CdS-Photoleiter im Vergleich zum Empfindlichkeits-Spektrum des menschlichen Gesichtssinnes. Als Einheit der Wellenlänge ist hier das **Nanometer** (1 milliardstel Meter, 1 nm = 10^{-9} m) verwendet.



Relative spektrale Empfindlichkeit von zwei CdS-Photoleitern im Vergleich mit der Empfindlichkeit des menschlichen Gesichtssinnes. Man sieht daß diese CdS-Photoleiter auch für Infrarotstrahlung (Wellenlängen über etwa 740 mm) empfindlich sind.

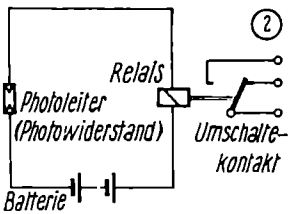
Diese CdS-Photoleiter haben auch für **Infrarotstrahlung** (Wellenlängen größer als die des sichtbaren Lichts) erhebliche Empfindlichkeiten. Man kann sie deshalb auch z. B. für Infrarot-Lichtschranken verwenden.

Photoleiter zum unmittelbaren Steuern eines Relais

Photoleiter mit größeren Ausmaßen vertragen soviel an Verlustleistung, daß man sie unmittelbar mit passenden elektromagnetischen Relais zusammenarbeiten lassen kann. Das **Bild 2** zeigt einen Stromkreis, in dem eine solche Zusammenarbeit stattfindet: Der Photoleiter liegt hier in Reihe mit der Wicklung des Relais an einer Batterie.

Voraussetzung für das ordnungsgemäße Funktionieren des Relais ist, daß der die Relais-Wicklung durchfließende Strom keine Zwischenwerte annimmt: Der Wert des Stromes muß so groß sein, daß der Relaisanker sicher angezogen wird, oder so gering, daß der Anker sicher abfällt bzw. in seiner Ruhestellung verbleibt.

Diese Schaltung eignet sich somit ausschließlich für Fälle, in denen das auf den Photoleiter fallende Licht nur den einen oder — im Wechsel damit — den anderen der beiden Stromwerte bewirken kann. Bei Beleuchtung des Photoleiters steigt sein Leitwert soweit an, daß der Strom ausreicht um das Anziehen des Relaisankers und somit das Betätigen des in Bild 2 eingetragenen **Umschaltekontaktes** zu bewirken.



Photoleiter als Lichtfühler in einer Schaltung, in der der Photoleiter unmittelbar den Erregerstrom eines Relais steuert. Hierbei handelt es sich um den schroffen Wechsel zwischen einer erheblichen und einer äußerst geringen Helligkeit.

Photoleiter umso träger, je größer sie sind

Ein Photoleiter mit großen Ausmaßen braucht länger zum Erreichen des Leitwertes, der nach einem plötzlichen Wechsel der Beleuchtungsstärke zu der für ihn nun maßgebenden Beleuchtungsstärke gehört. Das kann man so ausdrücken: Die **Trägheit** des Verhaltens eines Photoleiters mit großen Ausmaßen übersteigt diese Trägheit eines kleinen Photoleiters. Soll der Photoleiter-Leitwert auch raschen Schwankungen der Beleuchtungsstärke folgen können, so muß man dafür Photoleiter mit kleinen Ausmaßen verwenden. Sehr rasch arbeiten auch diese nicht. Kommt es auf besonders geringe Trägheit des Verhaltens an, so ist man deshalb genötigt, Lichtfühler anderer Art zu wählen (z. B. Photodioden).

Der Photoleiter — einer der Lichtfühler

„Lichtfühler" ist die allgemeine Bezeichnung für jedes Bauelement, das man verwendet, um ein Auswirken von Lichtschwankungen oder von Schwankungen einer Infrarotbestrahlung auf einen elektrischen Stromkreis zu erreichen. Demgemäß stellt ein Lichtfühler ein Bauelement dar, das bei Beleuchten oder bei Infrarot-Bestrahlen eine seiner wesentlichen elektrischen Eigenschaften der Beleuchtungsstärke bzw. der Strahlungsdichte gemäß ändert.
Statt Lichtfühler sagt man in diesem Sinn auch **photoelektrisches Bauelement** oder **photo-elektronisches Bauelement.**

Wichtigstes über Photoleiter

- Die lichtempfindliche Schicht der am meisten verwendeten Photoleiter besteht aus Cadmiumsulfid (CdS).
- Die Leitwerte dieser Photoleiter, die vorwiegend CdS-Photowiderstände genannt werden, sind der Beleuchtungsstärke des auf sie wirkenden Lichtes ungefähr proportional.
- Da ein Photoleiter unter Lichteinwirkung zwar einen erhöhten Leitwert hat, aber selbst keine elektrische Spannung liefert, muß man ihn stets in einem Stromkreis einsetzen, in dem eine Speisespannung wirksam ist.
- Der Photoleiter braucht deshalb selbst keine elektrische Leistung zu liefern, sondern hat lediglich die mit der Speisung verfügbare elektrische Leistung zu steuern.
- Photoleiter kann man als „Lichtfühler" außer in den Eingängen von Verstärkerschaltungen auch zum unmittelbaren Beeinflussen von Relais verwenden.
- Wo höhere Werte des Photoleiterstromes oder der Photoleiterspannung in Frage kommen, muß man Photoleiter mit entsprechend großen Ausmaßen verwenden.
- Der Photoleiter-Leitwert sinkt auch bei völlig fehlender Licht-Einwirkung nicht auf Null ab. Das ist für manche Verwendungszwecke von Nachteil.
- Die Leitwert-Änderungen der Photoleiter folgen den sie bewirkenden Änderungen der Licht- oder Infrarotstrahlen-Einwirkungen nicht so rasch, wie das mitunter zu fordern wäre.
- Deshalb muß man an Stelle von Photoleitern als „Lichtfühler" gegebenenfalls andere photo-elektrische (photo-elektronische) Bauelemente verwenden.
- Viele Photoleiter weisen außer für sichtbares Licht auch für Infrarot-Strahlung erhebliche spektrale Empfindlichkeiten auf.
- Ein Lichtfühler ist ein Bauelement, das eine seiner wesentlichen elektrischen Eigenschaften unter dem Einfluß von Licht (oder auch von Infrarotstrahlung) entscheidend verändert.

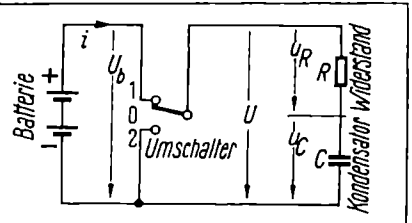
Kondensator an Batterie

Laden und Entladen des Kondensators

Kondensatoren kann man aufladen und wieder entladen. Das geschieht in Elektronik-Schaltungen über Widerstände. Diese Widerstände haben den Zweck, zu hohe Werte des Lade- bzw. Entladestroms zu verhindern.

Bild 1 zeigt eine Schaltung zum Aufladen und Entladen des Kondensators C über den Widerstand R.

Legt man den Umschalter in die in Bild 1 eingetragene Stellung, so fließt in diesem Stromkreis (veranlaßt von der Batterie-Spannung U_b) ein Strom I. Sein Wert nimmt allmählich bis auf Null ab. Währenddessen steigt die Spannung u_C am Kondensator bis auf den Wert der Batterie-Spannung U_b an.



① Plan einer Schaltung, in der ein Kondensator C über einen Widerstand R auf die Batteriespannung U_b aufgeladen und dann wieder entladen werden kann.

Nach Betätigen des Umschalters entlädt sich der Kondensator und wirkt nun als Stromquelle: In dem den Kondensator C, den Widerstand R und den Schalter umfassenden Stromkreis fließt jetzt der Kondensator-Entladestrom in dem dem Ladestrom entgegengesetzten Sinn. Auch dieser Strom geht allmählich auf Null zurück, wobei die Spannung am Kondensator gleichermaßen abnimmt.

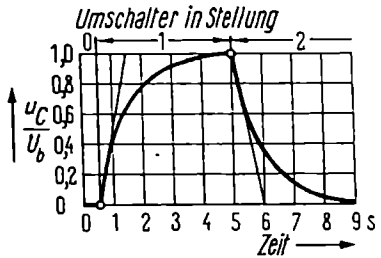
Lade- und Entlade-Kurve

Die **Bilder 2** und **3** veranschaulichen das. Im Bild 2 ist der zeitliche Spannungsverlauf dargestellt. In Bild 3 handelt es sich um den zeitlichen Stromverlauf (und zwar links um den Ladestrom, rechts um den Entladestrom).

Aufgetragen sind hierbei als Funktionen der Zeit nicht die Spannungen u_C und U_b bzw. der Strom I selbst, sondern die dementsprechenden Bruchteile der maximal möglichen Werte, nämlich von U_b für u_C und u_R sowie von $U_b : R$ für I. Damit gelten diese Bilder für beliebige Werte der Batteriespannung.

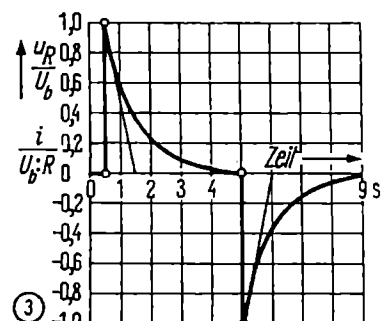
Kondensator-Kapazität

Darunter versteht man das Verhältnis der für das Laden eines Kondensators aufgewendeten **Strommenge** zu der damit erreichten Kondensator-Spannung. Bei einem



②

Ansteigen der Spannung am Kondensator beim Aufladen des Kondensators über einen Widerstand und Absinken der Kondensatorspannung beim Entladen des Kondensators über diesen Widerstand.



③

Zeitlicher Verlauf sowohl der Spannung am Widerstand wie auch des Stromes beim Laden und Entladen des Kondensators gemäß Bild 2 in der Schaltung nach Bild 1.

zeitlich gleichbleibenden Wert des Kondensatorstromes ist die für das Laden aufgewendete Strommenge gleich dem Produkt aus dem Wert des Ladestromes und der Dauer der Zeit, während der der Ladestrom fließt. Da man als Einheit des Stromes das Ampere und als Einheit der Zeit (in der Elektronik normalerweise) die Sekunde verwendet, erhält man so als Einheit für die Strommenge die **Amperesekunde** (A · s). Nimmt man nun noch für die Spannung die Einheit Volt (V) hinzu, so erhält man für die Kapazität, d. h. für das Verhältnis der Strommenge zur Spannung, als Einheit die Amperesekunde je Volt, d. h.

$$\frac{A \cdot s}{V}$$

Statt dies zu schreiben schreibt man kurz F. Das ist die Abkürzung von **Farad,** was den gekürzten Namen des Physikers Faraday darstellt. Ein Farad bedeutet daher eine Amperesekunde je Volt und ist so die Einheit der (elektrischen) Kapazität.

Man beachte: Die Kapazität ist kein Maß dafür, welche Arbeit (hier **elektrische Energie)** in dem Kondensator gespeichert werden kann, sondern nur für die je Volt gespeicherte Ladung. Die im Kondensator speicherbare Arbeit ist die Hälfte des Produktes aus der Kapazität und dem Quadrat der höchstzulässigen Kondensator-Gleichspannung. Das braucht man sich jedoch nicht unbedingt zu merken.

Einheiten für kleinere Kapazitäten

Ein Farad ist eine sehr erhebliche Kapazität. Die Kondensatoren, die man in Elektronik-Schaltungen verwendet, haben normalerweise wesentlich geringere Kapazitäten. Deshalb verwendet man für sie als Einheiten:

das **Mikrofarad** μF = ein millionstel Farad
das **Nano-Farad** nF = ein tausendstel Mikrofarad und
das **Pikofarad** pF = ein tausendstel Nanofarad.

Prinzipieller Aufbau der Kondensatoren

Ein Kondensator muß, wie das dafür verwendete Schaltzeichen (siehe Bild 1) andeutet und wie wir beim Studium des Bildes 1 erkannt haben, aus zwei elektrisch leitenden, gegeneinander gut isolierten Teilen aufgebaut sein.

Um große Kapazitäten zu erhalten, bildet man die beiden leitenden Teile so aus und ordnet sie derart an, daß sie sich mit großen Flächen in geringem Abstand gegenüberstehen. Früher verwendete man zur gegenseitigen Isolation Glas und als leitende Teile Stanniol-Folien, mit denen das Glas belegt wurde. Daher stammt die Bezeichnung **„Kondensator-Belag"** für jeden der beiden leitenden Teile des Kondensators. Die nichtleitende Schicht zwischen den Kondensator-Belägen nennt man gelegentlich heute noch wie vor mehr als 100 Jahren **Dielektrikum.**

Über Kondensatorarten

Viele Kondensator-Arten werden nach dem Material ihrer Isolierschicht benannt. In diesem Sinne gibt es z.B. **Papierkondensatoren** mit Belägen aus Aluminiumfolie, **Kunststoffolienkondensatoren** mit Kunststoffolie statt Papier und
Keramikkondensatoren mit Metallschichtbelägen auf Keramikkörpern.

Die beiden folgenden Kondensatorbezeichnungen leiten sich anders ab.

Metallpapierkondensatoren sind Papierkondensatoren, deren Beläge als Metallschichten auf das Papier aufgedampft wurden.

Elektrolytkondensatoren haben jeweils einen Metallbelag aus Aluminium (selten statt dessen aus dem viel teureren Tantal), als Isolierschicht eine Oxydhaut und als anderen Belag einen **Elektrolyten.** Das ist eine elektrisch leitende Flüssigkeit. Als elektrischer Anschluß an den Elektrolyten dient z. B. der Aluminium- bzw. Tantalbecher, der das Ganze umschließt. Für die meisten Elektrolytkondensatoren ist nur eine Polung der daran angelegten Spannung zulässig. Es gibt **Niedervolt-** und **Hochvolt-Elektrolytkondensatoren** – erstere z. B. für 3 V, 6 V, 10 V, 15 V, 25 V, 35 V, 70 V und 100 V, letztere etwa für 150 V, 250 V, 350 V, 450 V und 500 V als Nennspannungen (höchstzulässige Gleichspannungen).

Wichtigstes über Kondensatoren

- Ein Kondensator hat zwei elektrisch leitende Beläge, von denen jeder mit einem der beiden Kondensator-Anschlüsse verbunden ist.
- Die zwei Beläge stehen sich — voneinander elektrisch isoliert — mit großen Flächen in geringem Abstand gegenüber.
- Meistens besteht die zwischen den Belägen vorhandene Isolierschicht aus festem Isolierstoff.
- In den Elektrolytkondensatoren ist die Isolierschicht eine Oxydhaut und der eine „Belag" wird von einer elektrisch leitenden Flüssigkeit, einem Elektrolyten, dargestellt.
- In den anderen Kondensatoren sind die Beläge meistens dünne Metallschichten und die Isolierschicht wird von Spezialpapier, Kunststoff-Folien oder auch Keramik gebildet.
- Kondensatoren kann man aufladen, indem man jeden ihrer beiden Anschlüsse mit einer der zwei Klemmen einer Gleichstromquelle elektrisch leitend verbindet.
- Beim Laden fließt dem einen Belag Strom zu und vom anderen Belag Strom ab.
- Ein aufgeladener Kondensator weist zwischen seinen beiden Belägen eine elektrische Spannung auf und enthält eine elektrische Ladung.
- Demgemäß ist im aufgeladenen Kondensator Arbeit (in elektrischer Form) gespeichert.
- Die jeweilige Ladung eines Kondensators kann in Ampere-Sekunden (A · s) angegeben werden: So ergibt z. B. ein eine Millisekunde (ms) andauernder Ladestrom von einem Milliampere (mA) eine Ladung von
$1\ ms \cdot 1\ mA = 1\ \mu A \cdot s$ (eine Mikroampere-Sekunde).
- Die Ladung eines aufgeladenen Kondensators kann man auch als Strommenge bezeichnen.
- Kondensatoren entlädt man, indem man ihre zwei Anschlüsse (am besten über einen Schutzwiderstand) miteinander elektrisch leitend verbindet. Beim Entladen wird die im geladenen Kondensator gespeicherte Arbeit von ihm abgegeben.
- Als Kapazität eines Kondensators bezeichnet man seine zu einer Kondensatorspannung von einem Volt gehörende Ladung.
- Die Kapazität eines Kondensators kann daher in Amperesekunden je Volt (A· s : V) angegeben werden. Statt Amperesekunde je Volt sagt man üblicherweise Farad ($1\ F = 1\ A \cdot s : V$).
- Kondensatoren werden für bestimmte höchstzulässige Kondensatorspannungen geliefert.
- Elektrolyt-Kondensatoren beanspruchen im Vergleich zu ihren Kapazitäten weniger Raum als andere Kondensatoren. Die gegenseitige Isolation ihrer Beläge ist aber weniger gut. Außerdem muß man fast alle Elektrolytkondensatoren mit festgelegter Polung an die Spannung anschließen. Sie sind deshalb nur für Spannungen verwendbar, deren Vorzeichen nicht wechseln.

Widerstand und Kondensator als RC-Glied

Was RC-Glied heißt

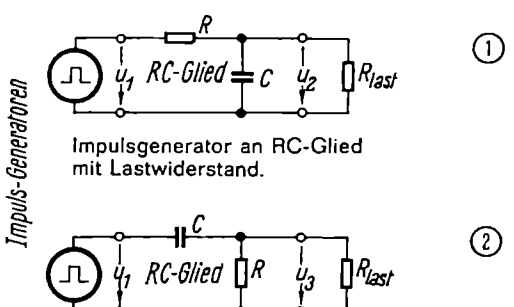
R und *C* sind die Formelzeichen für den Widerstandswert und für die Kapazität. Sie werden aber auch als kurze Bezeichnung für das Widerstands-Bauelement und für den Kondensator verwendet.
Unter einem RC-Glied versteht man die Kombination eines Widerstandes mit einem Kondensator, wobei der Kondensator-Lade- bzw. -Entladestrom diesen Widerstand durchfließt.

Bedeutung des RC-Gliedes

Das RC-Glied trifft man in der Elektronik sehr häufig an: In vielen Elektronik-Schaltungen wird das allmähliche Ansteigen der Spannung an einem über einen Widerstand aufgeladenen Kondensator bzw. das allmähliche Absinken der Spannung an einem über einen Widerstand entladenen Kondensator benutzt, um festgelegte oder wählbare Verzögerungen für ein Einschalten bzw. für ein Ausschalten zu erreichen.
Man verwertet aber auch die mit dem Kondensator-Spannungsverlauf zusammenhängende Tatsache, daß auf das RC-Glied einwirkende Spannungssprünge am Widerstand des RC-Gliedes unverfälscht auftreten, woran sich dann ein Spannungs-Ausgleich anschließt.

Zwei Schaltungen mit RC-Gliedern

Die **Bilder 1** und **2** zeigen die RC-Glied-Schaltungen für die zwei genannten Verwendungen. Die darin eingetragenen Impuls-Generatoren liefern periodisch eine positive Spannung u_1.
Der Impulsgenerator-Ausgagswiderstand soll klein sein gegen den RC-Glied-Widerstand *R*. Für die Last-

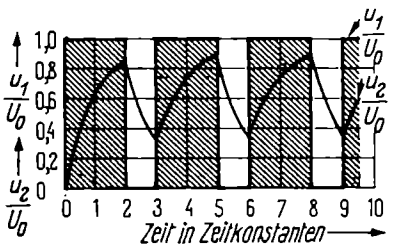


Impulsgenerator an RC-Glied mit Lastwiderstand.

Hier sind gegenüber Bild 1 Kondensator und Widerstand des RC-Gliedes miteinander vertauscht.

widerstände R_{last} mögen im Vergleich zu R hohe Werte gelten. Wir dürfen deshalb die über die Last-Widerstände fließenden Ströme hier außer Acht lassen bzw. uns vorstellen, die Lastwiderstände seien gar nicht angeschlossen.

Die Impuls-Generatoren seien, wie eben angedeutet, so beschaffen, daß ihre Ausgangs-Widerstände vernachlässigbar klein sind. Damit bedeuten sie während der Impulspausen für die RC-Glieder Kurzschlüsse. Die Impulse selbst sind **Rechteckimpulse:** Die Impulsspannung springt zu Impulsbeginn auf ihren Höchstwert, den sie bis zum Impulsende beibehält.



Rechteck-Impulse (schraffiert) an einem RC-Glied und hierzu gehörender zeitlicher Verlauf der Kondensatorspannung des RC-Gliedes.

Lade- und Entlade-Vorgang

Zunächst stellen wir fest: Nach dem Weglassen der Lastwiderstände handelt es sich in den Schaltungen nach Bild 1 und Bild 2 jeweils um den Impuls-Generator und die an ihn angeschlossene Reihenschaltung von R und C. Die (vertauschte) Reihenfolge von R und C ist für das Verhalten der Schaltung belanglos. Insgesamt haben wir es mit drei Spannungen zu tun:

mit u_1 der Impulsgenerator-Spannung, die auch die Spannung an der RC-Reihenschaltung ist,

mit u_2 der Spannung, die am Kondensator auftritt, und mit u_3 der Spannung, die sich am Widerstand ergibt.

Wenn wir uns das in den Bildern ansehen, erkennen wir, daß in jedem Zeitpunkt $u_1 = u_2 + u_3$ gelten muß.

Nun betrachten wir **Bild 3:** Der Impulsgenerator wird so betrieben, daß im Zeitpunkt 0 der erste seiner positiven Impulse einsetzt. Diese Impulse sind in Bild 3 mit Schraffur hervorgehoben. Mit dem Einsetzen des Impulses beginnt das Laden des Kondensators. Die Kondensator-Spannung steigt erst ziemlich rasch an. Dann wird der Anstieg langsamer.

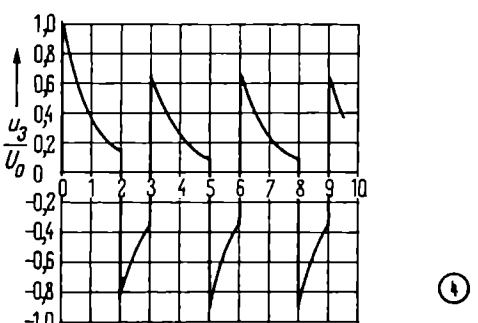
Das ist leicht einzusehen: Bei bereits teilweise aufgeladenem Kondensator steht zum weiteren Laden nurmehr der noch verbleibende Überschuß der Generatorspannung u_1 über die Kondensatorspannung u_2 zur Verfügung. Dieser Überschuß aber wird im Laufe des Aufladens immer geringer.

Mit dem Impuls-Ende hört das Laden des Kondensators auf. Nun beginnt das Entladen. Der Entladestrom

schließt sich hier über den Widerstand R und den Generator, dessen Stromweg zwischen seinen beiden Klemmen wir als widerstandsfrei vorausgesetzt hatten. Das Entladen des Kondensators geht erst rascher und dann ständig langsamer vonstatten. Beim Entladen muß nämlich die Kondensator-Spannung den Entladestrom durch den Widerstand R treiben. Abnehmen der Kondensatorspannung hat ein Sinken des Entladestromes und damit ein Verlangsamen des Entladens zur Folge.
In Bild 3 sind die Spannungen u_1, u_2 und u_3 auf den Impulskuppenwert U_0 bezogen. Der **Impulskuppenwert** ist der höchste Augenblickswert des Impulses.

Die Spannung am Widerstand

Die Spannung am Widerstand ist in jedem Zeitpunkt mit dem Produkt aus dem Widerstandswert und dem zu diesem Zeitpunkt geltenden Wert des Kondensator-Lade- bzw. Entladestromes gegeben. Dabei ist zu beachten: Die Stromwerte haben für Ladung und Entladung einander entgegengesetzte Vorzeichen, weil der Entladestrom in umgekehrter Richtung fließt wie der Ladestrom.
Wir brauchen jedoch hier gar nicht auf den Kondensatorstrom zurückzukommen. Es genügt, wenn wir die Beziehung zwischen den drei Spannungen, nämlich
$u_1 = u_2 + u_3$ oder, was dasselbe ist, $u_3 = u_1 - u_2$
betrachten. In der zweiten hier abgedruckten Form dieser Beziehung heißt das: die Spannung am Widerstand (u_3) ergibt sich für jeden einzelnen Zeitpunkt, wenn von der Spannung u_1 (Relativwert entweder 1 oder 0) der zu diesem Zeitpunkt gehörende Wert der Spannung u_2 abgezogen wird. So folgt aus Bild 3 das **Bild 4.**
Wir sehen: In den Zeitpunkten, auf die die Anfänge bzw. Enden (im Bild die Kanten) der vom Generator stammenden Impulse fallen, folgt die Spannung am Widerstand vollständig den mit den **Impulskanten** gegebenen Spannungssprüngen. Das sollte man sich genau ansehen. Dieses Verhalten der Spannung am Widerstand eines RC-Gliedes spielt nämlich in der Elektronik häufig eine wichtige, ja ausschlaggebende Rolle!



Zeitlicher Verlauf der Spannung am Widerstand des RC-Gliedes für den Fall des Bildes 3.

Die Zeitkonstante

In dem Bild 3 steht an der waagerechten Zeitachse nicht etwa z. B. Sekunden, sondern „Zeit in Zeitkonstanten". Das soll auch für Bild 4 gelten.

Die **Impulsdauer** entspricht zwei Zeitkonstanten. Die **Impulspause** wird hier von einer Zeitkonstanten dargestellt.

Wir betrachten nun aber keine Impulse sondern einfach das Laden des Kondensators über einen Widerstand mit der Speisespannung U_b und dem anschließenden Entladen.

Die Zeitkonstante ist kein allgemeines Zeitmaß sondern die einem RC-Glied charakteristische Zeitspanne.

Unter der Zeitkonstante eines RC-Gliedes hat man die Zeit zu verstehen, in der

die volle Aufladung auf die angelegte Speisespannung U_b erreicht wäre, wenn der Ladestrom seinen mit $U_b : R$ gegebenen Anfangswert beibehielte **(Ladezeitkonstante),** bzw. in der

der Kondensator gerade ganz entladen wäre, wenn der Kondensator-Entladestrom seinen mit $u_c : R$ gegebenen Anfangswert beibehielte, wobei mit u_c die Kondensatorspannung zu Beginn des Entladens gemeint ist **(Entladezeitkonstante).**

Nach Ablauf einer Zeitspanne von der Dauer der Zeitkonstante ist

beim Laden des Kondensators mit einer gleichbleibenden Speisespannung an der Reihenschaltung von R und C als Kondensatorspannung jeweils rund das 0,63fache des Unterschiedes zwischen U_b und der am Anfang dieser Zeitspanne bestehenden Kondensatorspannung erreicht und

beim Entladen des Kondensators in der kurzgeschlossenen RC-Reihenschaltung die Kondensatorspannung jeweils rund um das 0,63fache der am Anfang dieser Zeitspanne bestehenden Kondensatorspannung abgesunken. (**Um** das 0,63fache abgesunken heißt: **Auf** das 0,37fache abgesunken).

Zeitkonstante und Kondensatorspannung als Tabelle

Beim Aufladen eines Kondensators mit einer konstanten Spannung (Wert gleich der Endspannung) über einen ohmschen Widerstand, steigt die Kondensatorspannung so an:

Aufladezeit in Zeitkonstanten	0	1	2	3	4
Bruchteil der Endspannung	0	0,63	0,865	0,95	0,982

Beim Entladen eines Kondensators über einen ohmschen Widerstand R sinkt die Kondensatorspannung so ab:

Entladezeit in Zeitkonstanten	0	1	2	3	4
Bruchteil der Anfangsspannung	1	0,37	0,135	0,05	0,018

Zeitkonstante, Kapazität und Widerstandswert

Es ist von vornherein klar, daß die Zeitkonstante mit Erhöhen der Kapazität ansteigt, weil das Laden und Entladen eines Kondensators über einen gegebenen Widerstand sich mit wachsender Kondensatorkapazität verlangsamen muß.

Es ist außerdem auch ohne weiteres einzusehen, daß ein Erhöhen des Widerstandswertes bei beibehaltener Kondensatorkapazität das Laden und Entladen wegen der dann geringeren Lade- und Entlade-Stromwerte hinauszögert.

Offenbar hängt die Zeitkonstante deshalb mit dem Produkt aus Widerstandswert und Kondensatorkapazität zusammen. Dies zeigt sich an den hierzu gehörenden Einheiten:

Die Widerstands-Einheit ist $1\ \Omega = \frac{1\ V}{1\ A}$

Die Kapazitäts-Einheit ist $1\ F = 1\ \frac{A \cdot s}{V}$

Die Einheit für das Produkt aus Widerstandswert und Kapazität folgt hieraus zu $1\frac{V}{A} \cdot 1\frac{A \cdot s}{V} = 1\ s$

Die A und V konnten nämlich weggekürzt werden. Mit Worten: Man erhält die Zeitkonstante in Sekunden, wenn man den Widerstandswert in Ohm mit der Kapazität in Farad vervielfacht.

Wichtigstes über RC-Glieder

- Am Kondensator C (Bild 1) ergibt sich eine Spannung u_2 die während jedes Eingangs-Impulses u_1 erst rasch und dann immer langsamer ansteigt, um in den Impulspausen dementsprechend abzusinken **(Bild 3).**
- Am Widerstand R (Bild 2) tritt jede Impulskante (jeder Spannungssprung) der auf den Eingang des RC-Gliedes wirkenden Impulsspannung u_1 voll auf, wobei anschließend der Betrag der Spannung u_3 jeweils erst rasch und dann langsamer zurückgeht **(Bild 4).**
- Ausschlaggebend für das Ansteigen und Absinken bzw. Zurückgehen des Spannungsbetrages ist dabei stets das Produkt der Werte von R und C.
- Das Maß für den Widerstandswert R ist das Ohm, das nichts anderes als ein Volt je Ampere (V : A) bedeutet.
- Als Maß für die Kapazität C dient das Farad, womit eine Amperesekunde je Volt (1 A · s :V) gemeint ist.
- Hieraus folgt für das Produkt aus R und C, das man somit berechtigt Zeitkonstante (d. h. konstant festgelegte Zeit) nennt, als Maß

$1\frac{V}{A} \cdot \frac{A \cdot s}{V} = \frac{V \cdot A \cdot s}{A \cdot V} = 1\ s$ nämlich die Sekunde.

- Beispielsweise gehört zu einem Widerstand von 120 Kiloohm $= 120 \cdot 10^3\ V : A = 0{,}12 \cdot 10^6\ V : A$ und einer Kapazität von 20 μF $= 20 \cdot 10^{-6}\ A \cdot s : V$ die Zeitkonstante $(0{,}12 \cdot 10^6\ V : A) \cdot (20 \cdot 10^{-6}\ A \cdot s : V) = 2{,}4\ s$

Induktivität beim Schließen eines Gleichstromkreises

Erste Erklärung des Begriffes der Induktivität

Mit der Induktivität charakterisiert man den Einfluß des von einem elektrischen Strom bewirkten Magnetfeldes auf den Stromkreis, in dem dieser Strom fließt.
Hand in Hand mit einem jeden elektrischen Strom bildet sich in der Umgebung der Strombahn und in dieser selbst ein Magnetfeld aus.
Statt Induktivität sagen manche Leute immer noch (wie im vorigen Jahrhundert) **Selbstinduktionskoeffizient.**

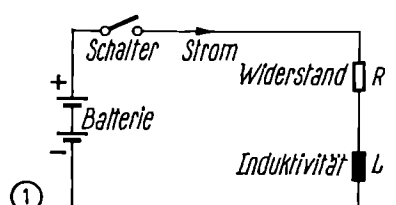
Ein Magnetfeld hat einen Arbeitsinhalt:

In Form des Magnetfeldes ist Arbeit gespeichert. Als Arbeits-Einheit hat man in der Elektronik meistens die Wattsekunde, während in der sonstigen Elektrotechnik dafür normalerweise die Einheit Kilowattstunde in Betracht kommt. Die in Form des Magnetfeldes gespeicherte Arbeit nennt man **magnetische Energie.**
Beginnt ein Strom zu fließen, so bildet sich das zu ihm gehörende Magnetfeld aus. Zu dessen Aufbau muß Arbeit aufgewendet werden. Der Wert des Stromes kann dabei nur in dem Maß ansteigen in dem die Möglichkeit eines Lieferns von Arbeit aus dem Stromkreis zum Aufbau des Magnetfeldes besteht. Diese Arbeit stammt aus der Quelle die den Strom bewirkt. Der Wert des Stromes kann deshalb unter Wirkung des Magnetfeldes bzw. der damit verursachten Induktivität erst nach und nach seinen vollen Wert erreichen.
Unterbricht man den Stromweg, so zwingt man damit das Magnetfeld zu einem raschen Abbau. Solange aber das Magnetfeld nicht voll abgebaut ist, fließt zwangsweise noch immer der Strom. Dieser bewirkt an der Unterbrechungsstelle eine Spannung, die dort einen Funken oder gar einen Lichtbogen zur Folge hat. In diesen **„Öffnungsfunken"** oder Lichtbogen entlädt sich die bis dahin im Magnetfeld gespeicherte Arbeit.

Ein Stromkreis wird geschlossen

Bild 1 zeigt den Stromkreis. Er enthält außer einer Batterie und einem Schalter die Reihenschaltung eines Widerstandes mit einer Induktivität. In Wirklichkeit handelt es sich dabei oft um eine Wicklung mit einer Induktivität, wobei der Widerstand mit dem Drahtwiderstand gegeben ist und jede Drahtwindung zum Widerstand sowie zur Induktivität beiträgt.
So etwas wirkt sich aber in derselben Weise aus, wie die Reihenschaltung, in der Widerstand und Induktivität getrennt enthalten sind. Diese Reihenschaltung ist

eine **Ersatzschaltung.** Eine solche bietet den Vorteil, daß man in ihr das Verhalten der Anordnung leichter überblicken kann als in der gegebenen Schaltung.
Wenn der Schalter geschlossen wird, beginnen sofort der Anstieg des Stromwertes und der Aufbau des mit dem Strom „verketteten" Magnetfeldes. Der auf den Widerstand entfallende Anteil der Batteriespannung ist dabei mit dem Produkt aus Stromwert und Widerstandswert gegeben.
Im ersten Moment hat der Strom den Wert Null. Deshalb ist in diesem Moment noch die volle Batteriespannung für den Aufbau des Magnetfeldes frei. Der Magnetfeld-Aufbau geht also anfangs rasch vonstatten, was mit einem dementsprechenden Anstieg des Stromwertes gekoppelt ist.
In dem Maß, in dem der Stromwert ansteigt, nimmt der Anteil der auf den Widerstand entfallenden Spannung zu. Daher sinkt der für den weiteren Aufbau des Magnetfeldes verfügbare Anteil der Gesamtspannung ab. Folglich verlangsamen sich Aufbau des Magnetfeldes und Anstieg des Stromwertes mehr und mehr. Schließlich wird der Endzustand erreicht, in dem das Magnetfeld dem mit (Batteriespannung : Widerstandswert) gegebenen Strom entspricht, und der Strom diesen Wert angenommen hat.



Schaltplan eines Stromkreises in dem die Reihenschaltung einer Induktivität (*L*) mit einem Widerstand (*R*) mittels eines Schalters an eine Batterie angeschlossen werden kann.

Maß für die Induktivität

Die Induktivität, für die das Formelzeichen *L* festgelegt ist, gibt man in Henry (abgekürzt H) an. Dabei ist ein **Henry** dasselbe wie eine Voltsekunde je Ampere:

$$1\,\mathrm{H} = 1\,\frac{\mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{A}}$$

Das versteht man, wenn man folgendes bedenkt: Damit ein Strom zustande kommt, muß ein (mit der Zeit abnehmender) Anteil der Spannung während einer mehr oder weniger langen Zeit den Feldaufbau „besorgen".

Auch hier eine Zeitkonstante

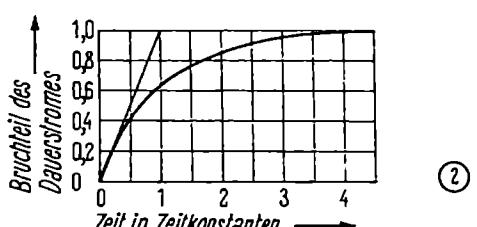
Offenbar dauert es umso länger, bis der Endzustand erreicht ist, je höher die Induktivität und je geringer der Widerstandswert sind: Hohe Induktivität bedeutet den Aufbau eines im Vergleich zum Wert des Stromes erheblichen Magnetfeldes. Zu geringem Widerstandswert

gehören im Endzustand ein hoher Stromwert und ein dazu passendes Magnetfeld.
Die Zeitkonstante entspricht demnach hier dem Verhältnis der Induktivität zum Widerstandswert R. Das zeigt sich auch beim Betrachten der Einheiten von L und R:

$$1\,\mathrm{H} = 1\,\frac{\mathrm{V}\cdot\mathrm{s}}{\mathrm{A}} \qquad 1\,\Omega = 1\,\frac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}}$$

$$\frac{1\,\mathrm{H}}{1\,\Omega} = 1\,\frac{\mathrm{V}\cdot\mathrm{s}}{\mathrm{A}}\cdot\frac{\mathrm{A}}{\mathrm{V}} = 1\,\mathrm{s}$$

A und V können nämlich weggekürzt werden. Beispiel: L = 3 H, R = 1,5 Ω, Zeitkonstante = L : R = 3 H : (1,5 Ω) = 2 s.



Anstieg des Stromes nach dem Schließen des Schalters in einer Schaltung nach Bild 1.

In Worten ausgedrückt heißt dies: Die zu der Reihenschaltung einer Induktivität L mit einem Widerstand R gehörende **Zeitkonstante** ist damit zu erhalten, daß man die Induktivität durch den Widerstandswert teilt. Mit L in Henry und R in Ohm ergibt sich die Zeitkonstante in Sekunden.
Für den Anstieg des Stromes in einem Stromkreis mit einer zeitlich konstanten Gleichspannung und einer Reihenschaltung aus einem ohmschen Widerstand mit einer vom Stromwert unabhängigen Induktivität gilt **(Bild 2):**

Zeit ab Schließen des Stromkreises in Zeitkonstanten	0	1	2	3	4
Bruchteil vom Strom-Endwert	0	0,63	0,865	0,95	0,982

Die Arbeit (**magnetische Energie**), die in einem zum Strom I und der Induktivität L gehörenden Magnetfeld gespeichert ist, ergibt sich als die Hälfte des Produktes der Induktivität mit dem Quadrat des Strom-Betrages.

Mit den Einheiten A für den Strom und V · s : A für die Induktivität erhält man für den Arbeitsinhalt

$$\mathrm{A}^2\cdot\frac{\mathrm{V}\cdot\mathrm{s}}{\mathrm{A}} = \mathrm{A}\cdot\mathrm{V}\cdot\mathrm{s} = \mathrm{W}\cdot\mathrm{s},$$

wie das sein soll.

Wichtigstes über Induktivitäten

- Im Anschluß an das Schließen eines Gleichstromkreises baut sich gemeinsam mit dem Ansteigen des Stromes ein Magnetfeld auf.
- Das Magnetfeld stellt, wie man z. B. am Anziehen eines Relaisankers erkennen kann, gespeicherte Arbeit (magnetische Energie) dar.
- Diese Arbeit wird beim Aufbau des Magnetfeldes von der Batterie geliefert.
- Das Magnetfeld ist mit dem Wicklungsstrom verkettet: Es tritt deshalb gemeinsam mit dem Strom auf.
- Beim Schließen des Gleichstromkreises nimmt das Magnetfeld von Null ausgehend zu. Dementsprechend steigt auch der Wert des Stromes von Null aus an.
- Da der auf den Widerstand entfallende Anteil der Batteriespannung mit dem Produkt aus Widerstandswert und Strom gegeben ist, entfällt auf den Widerstand anfänglich nur eine geringe Spannung.
- Deshalb steht für den Magnetfeld-Aufbau zunächst fast die volle Betriebsspannung zur Verfügung, so daß der Aufbau des Magnetfeldes und mit ihm der Anstieg des Stromes anfangs besonders intensiv sind.
- Die Rückwirkung des Magnetfeldes, das gemeinsam mit einem zu ihm gehörenden Strom auftritt und von der diesen Strom bewirkenden Spannung aufgebaut wird, kennzeichnet man mit der Angabe der Induktivität (Formelzeichen *L*).
- Das Maß für die Induktivität ist das Henry. Ein Henry (H) ist nichts anderes als eine Voltsekunde je Ampere ($1\,V \cdot s : A$).
- Da ein Ohm dasselbe bedeutet wie ein Volt je Ampere ($1\,V : A$) hat das Verhältnis einer in Henry ausgedrückten Induktivität zu einem Widerstandswert, der In Ohm angegeben ist, die Einheit Sekunde:

$$(1\,V \cdot s : A) : (1\,V : A) = 1\,s.$$

- Würde sich der Magnetfeld-Aufbau nicht verlangsamen, so wäre er nach derjenigen Zeit beendet, die mit dem Verhältnis der Induktivität zum Widerstandswert gegeben ist.
- Man nennt das Verhältnis der Induktivität zum Widerstandswert einer Spule oder Wicklung oder eines Stromkreises die hierzu gehörende Zeitkonstante. Das ist die aus diesem Verhältnis folgende konstante Zeitspanne.
- Es ergibt sich beispielsweise zu der Reihenschaltung eines Widerstandes von 10 Ohm mit einer Induktivität von 2 Henry eine Zeitkonstante von

$$2\,H : (10\,\Omega) = 2\,(V \cdot s : A) : (10\,V : A) = 0{,}2\,s$$

- Im Dauerzustand (nachdem der Schalter in der Schaltung nach Bild 1 schon seit einer Zeit von wenigstens etwa sechs Zeitkonstanten geschlossen ist) wirkt sich die Induktivität auf den Stromkreis nicht aus.
- Der in der Schaltung fließende Dauerstrom ist daher mit dem Verhältnis Batteriespannung : Wert des Widerstandes gegeben.

Induktivität und Freilaufdiode

Abschalten eines Gleichstromes

Unterbricht man einen Gleichstrom, so kann es an der Unterbrechungsstelle zu einem Funken oder gar zu einem Lichtbogen kommen. Auf jeden Fall ergibt sich beim Unterbrechen eines Gleichstromes unter Wirkung der niemals ganz vermeidbaren Induktivität des gesamten Stromweges eine **Abschalt-Überspannung.** Diese könnte bei Vorhandensein höherer Induktivitäten Werte annehmen, die nicht zugelassen werden dürfen. Unterbricht man einen Strom, in dessen Weg eine Induktivität wirksam ist, mit dem Sperren eines Transistors, so wird dieser unter Wirkung der Abschalt-Überspannung möglicherweise zerstört. Auch wenn weder so etwas passiert noch Funken oder Lichtbogen auftreten, kann die Abschalt-Überspannung immerhin elektrische Schwingungen anstoßen, wie sie etwa den Rundfunk- oder Fernseh-Empfang stören.

Falls die Gleichstromquelle einen so hohen Ausgangswiderstand hat, daß sie einen Kurzschluß aushält, kann man einen von ihr gespeisten Stromweg auch damit außer Betrieb setzen, daß man diesen Stromweg kurzschließt.

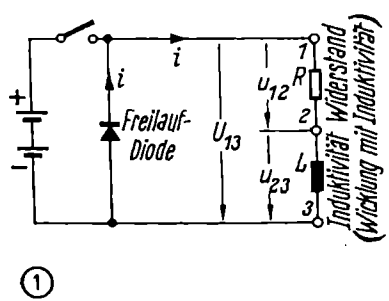
Wenn der so kurzgeschlossene Teil des Stromkreises mit höherer Induktivität behaftet ist, fließt der Strom über den Kurzschluß in der ursprünglichen Richtung weiter bis er schließlich abgeklungen ist.

Dabei verwandelt sich die zuvor im Magnetfeld gespeicherte Arbeit in die Wärme, die von dem abklingenden Strom in dem von ihm durchflossenen Widerstand bewirkt wird.

Eine Schaltung mit einer Freilaufdiode

Bild 1 enthält den Schaltplan eines Batteriestromkreises mit der Reihenschaltung einer Induktivität und eines Widerstandes. Außerdem befinden sich in dieser Schaltung ein Schalter und eine Freilauf-Diode.

Mit **Diode** bezeichnet man im allgemeinen ein Bauele-



① In dieser Schaltung ist der aus einem Widerstand und einer Induktivität bestehende Stromzweig von einer Ventildiode überbrückt. Für die Batterlespannung gilt deren Sperrzustand.

ment (heute fast immer ein Halbleiter-Bauelement), das den elektrischen Strom in einer Richtung passieren läßt und ihn für die Gegenrichtung nahezu sperrt. Eine Diode hat in diesem Sinn für die eine Stromrichtung einen hohen (Durchgangs-)Leitwert und für die andere Stromrichtung einen hohen (Sperr-)Widerstand.

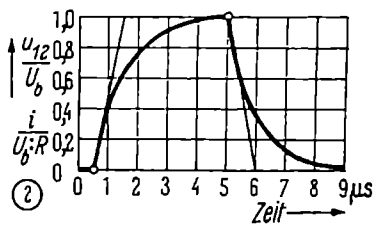
Mit **„Freilauf"** wird auf die besondere Verwendung der Diode hingewiesen: „Freilauf" deutet an, daß die Diode hier ein Weiterfließen eines Stromes nach Unterbrechen der Verbindung mit der den Strom treibenden Quelle ermöglicht.

Beim Schließen des Schalters und während der gesamten Dauer des Einschaltzustandes ist die Freilauf-Diode im Sperrzustand und deshalb ohne merklichen Einfluß auf das Verhalten der übrigen Schaltung.

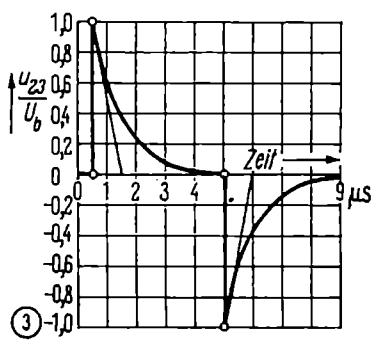
Im Anschluß an das Öffnen des Schalters ermöglicht die Freilauf-Diode ein allmähliches Abklingen des Stromes. Damit wird die beim Unterbrechen des Stromes an einer Induktivität auftretende Abschalt-Überspannung vermieden, die aus dem sonst plötzlichen Abbau des Magnetfeldes folgt.

Die Freilaufdiode wird manchmal **Löschdiode** genannt.

Dieses Bild zeigt, wie der Strom und die ihm proportionale Spannung am Widerstand beim Schließen des Schalters zunehmen und beim Öffnen des Schalters abnehmen, wobei sich der abnehmende Strom über die Diode schließt.



Der dem Bild 2 entsprechende zeitliche Verlauf die Spannung an der Induktivität: Die Summe der beiden Spannungen (Bild 2 und Bild 3) ist in jedem Augenblick bei geschlossenem Schalter gleich der Batteriespannung und bei offenem Schalter (ideale Diode vorausgesetzt) gleich Null.



Zeitlicher Stromverlauf

Bild 2 zeigt diesen Verlauf. Der Schalter wird in dem zu 0,5 µs gehörenden Zeitpunkt geschlossen. Der Strom steigt entsprechend einer Zeitkonstante von einer Mikrosekunde an und erreicht nach Ablauf von etwa 4 µs nahezu seinen Endwert. In dem zu 5 µs gehörenden Zeitpunkt wird der Schalter geöffnet. Jetzt klingt der

Strom über den Widerstand R und die Freilaufdiode ab. Dafür ist wieder die mit $L : R = 1\ \mu s$ gegebene Zeitkonstante gültig, weil die Freilaufdiode jetzt praktisch einen Kurzschluß darstellt.
Das Bild 2 gilt nicht nur für den Strom sondern ebenso auch für die Spannung an dem ohmschen Widerstand R. Diese Spannung ergibt sich nämlich als Produkt aus dem jeweiligen Augenblickswert des Stromes und dem konstanten Widerstandswert.

Zeitlicher Spannungsverlauf

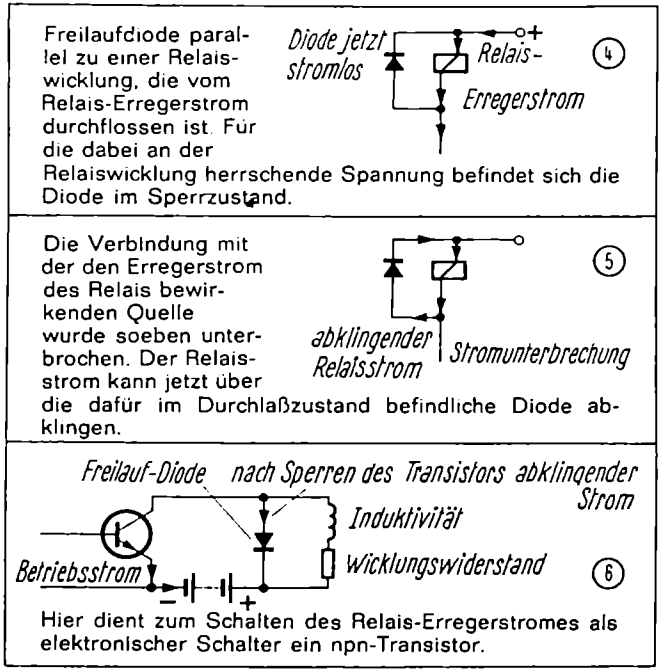
Er ist — passend zu Bild 2 — in **Bild 3** aufgetragen.
Man erhält diesen Verlauf aus dem Verlauf der Spannung u_{12} am Widerstand sehr einfach, wenn man beachtet, daß die Spannung $U_{13} = u_{12} + u_{23}$ ist, sowie daß die Spannung zwischen den Zeitpunkten 0,5 µs und 5 µs den vollen (gleichbleibenden) Wert, sonst aber den Wert Null hat. Hiermit ergibt sich in Bild 2 die Spannung u_{23}
während des Stromanstiegs mit den senkrechten Entfernungen der waagerechten zu 1,0 gehörenden Linie von den Punkten der Kurve und
während des Stromabsinkens mit den senkrechten Entfernungen der waagerechten, zu 0 gehörenden Linie von den Punkten der Kurve.
Wer das genau studiert, merkt, daß hieraus bereits der Vorzeichenwechsel der Spannung folgt. Dieser Vorzeichenwechsel erklärt sich ganz einfach aus der Tatsache, daß die Induktivität bei geschlossenem Schalter aus der Batterie gespeist wird und — mit ungeänderter Stromrichtung — bei geöffnetem Schalter selbst die Rolle einer Quelle spielt.
In den Bildern 2 und 3 ist die als Speisespannung auftretende Batteriespannung mit U_b bezeichnet. Bei geschlossenem Schalter stimmt in der Schaltung nach Bild 1 die Spannung U_{13} mit der Spannung U_b überein.

Schaltzeiten

Die Übergänge zwischen Durchlaß- und Sperrzustand benötigen in den Dioden — wenn auch nur sehr kurze — Zeiten. Die Freilaufdiode wirkt sich erst voll aus, wenn der Übergang zwischen ihrem Sperrzustand und ihrem Durchlaßzustand beendet ist. Das muß insbesondere beim Verwenden von Freilaufdioden zusammen mit als Schalter dienenden Transistoren beachtet werden.

Freilauf-Diode und Relaiswicklung

Die **Bilder 4** und **5** veranschaulichen mit dem Schaltzeichen einer Relaiswicklung nochmals das, was vorstehend über das Wirkungsprinzip der Freilauf-Diode ausgeführt ist.
Bild 6 zeigt, wie die Freilauf-Diode eingefügt wird, wenn als Schalter ein npn-Transistor dient.



Wichtigstes über Abschalten von Induktivitäten

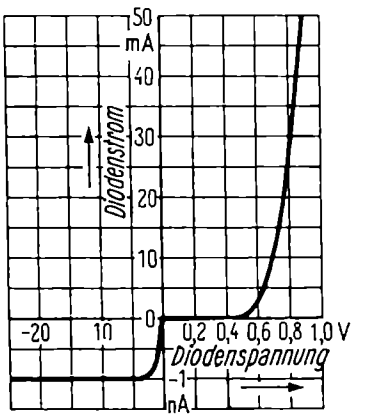
- Die Induktivität kennzeichnet das elektrische Zurückwirken eines Magnetfeldes auf den Stromkreis, in dem der zu diesem Magnetfeld gehörende Strom fließt.
- Ein Magnetfeld stellt gespeicherte Arbeit dar. Diese entlädt sich beim Abschalten des zum Magnetfeld gehörenden Stromes.
- Das geschieht bei Unterbrechen des Stromes und geringem Magnetfeld-Arbeitsinhalt in Form eines an der Unterbrechungsstelle auftretenden Öffnungsfunkens. An dessen Stelle kann sich bei größerem Magnetfeld-Arbeitsinhalt ein Lichtbogen ergeben.
- Wird der eine Induktivität enthaltende Teil eines Stromkreises beim Abschalten der Stromquelle kurzgeschlossen, so kann sich das zur Induktivität gehörende Magnetfeld nach und nach abbauen:
- Das Magnetfeld bewirkt bei einem solchen Abbau, daß die Induktivität den Strom über den Kurzschluß des die Induktivität enthaltenen Stromzweiges weiterfließen läßt, bis sich dieser Strom gewissermaßen totläuft.
- Ein solches Kurzschließen erfolgt automatisch mit einer Freilauf-Diode: Sie ermöglicht ein Weiterfließen des Stromes nach dem Öffnen des Schalters.
- In dem dann über die Freilauf-Diode geschlossenen Stromkreis spielt die Induktivität bis zum völligen Abbau des zu ihr gehörenden Magnetfeldes die Rolle einer Stromquelle.
- Die in Form des Magnetfeldes gespeicherte Arbeit wird bei Durchtreiben des Stromes durch den Widerstand und durch die Freilauf-Diode aufgebraucht: Die gespeicherte Arbeit setzt sich dort in Wärme um.
- Der auf die Freilauf-Diode entfallende Anteil ist gering. An der Diode tritt nur weniger als 1 V auf.

Ventil-Diode im Einweggleichrichter

Die Bezeichnungen

Eine **Ventil-Diode** ist ein Bauelement mit zwei Anschlüssen. Es hat für die eine Stromrichtung (die **Durchlaßrichtung,** auch **Flußrichtung** oder **Vorwärtsrichtung** genannt) einen hohen Leitwert (**Durchlaßspannung** unter einem Volt) und für die Gegenrichtung (die **Sperrichtung,** auch als **Rückwärtsrichtung** bezeichnet) einen hohen Widerstand **(Sperrwiderstand)**; Sperrstrom in der Größenordnung von Nanoampere (nA) bis Mikroampere (µA) **(Bild 1).** Ein **Nanoampere** ist ein tausendstel Mikroampere. Ein **Mikroampere** ist ein millionstel Ampere.

Die heute verwendeten Ventil-Dioden sind Halbleiter-Bauelemente. Für höhere Spannungen und auch für höhere Ströme (also z. B. in Netzanschlußteilen) verwendet man **Siliziumdioden.** Für niedrige Spannungen hat man auch **Germaniumdioden.** Ihre Durchlaßspannungen sind noch kleiner. Dafür aber liegen die Werte ihrer Sperrströme höher. Außerdem vertragen sie weniger hohe Sperrspannungen.



Strom-Spannungs-Kennlinie einer Silizium-Diode (für eine Temperatur von 25 °C). Man beachte, daß die Maßstäbe für die positiven Werte des Diodenstromes und der Diodenspannung von den Maßstäben der negativen Werte dieser beiden Größen sehr stark abweichen!

①

Der Einweg-Gleichrichter

Unter einem **Gleichrichter** versteht man eine Anordnung, die — an eine Wechselspannung angeschlossen

— Gleichstromleistung zur Verfügung stellt. Gleichrichter ermöglichen es daher, z. B. aus dem Wechselstromnetz Gleichstromleistung zu entnehmen.
Im Einweg-Gleichrichter, den man auch **Halbweg-Gleichrichter** nennt, werden für das Gleichrichten lediglich Wechselspannungs-Halbwellen desselben Vorzeichens ausgenutzt. Die Wechselstromquelle kann dabei nur Stromimpulse gleicher Stromrichtung bewirken.

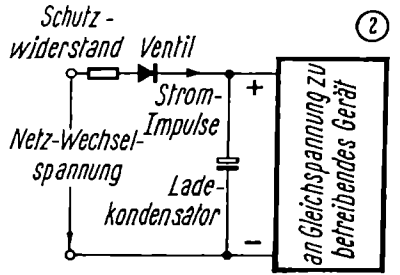
Schaltung des Einweg-Gleichrichters

Bild 2 enthält den Schaltplan einer solchen Gleichrichterschaltung. Diese besteht aus der Ventil-Diode, einem Ladekondensator (das Schaltzeichen deutet an, daß es sich um einen **Elektrolytkondensator** handelt) und der Belastung, die die Gleichstromleistung aufnimmt. Die Belastung rechnet zwar, genau genommen, nicht zum Gleichrichter selbst. Ohne sie hätte aber der Gleichrichter wenig Zweck.

Zeitlicher Verlauf der Spannungen

In **Bild 3** ist der zeitliche Verlauf der Wechselspannung aufgetragen. Es zeigt diese mit ihren positiven und negativen Halbwellen. In **Bild 4** sehen wir außerdem den zeitlichen Verlauf der Spannung am Ladekondensator: Der Kondensator wird jedesmal nachgeladen, wenn der Wechselspannungs-Augenblickswert den Augenblicks-

Einweg-Gleichrichterschaltung mit Ladekondensator. Die sich am Ladekondensator ergebende Spannung ist die Speisespannung des an den Gleichrichter angeschlossenen Gerätes.

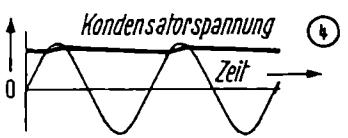


② Einweg-Gleichrichterschaltung

Der zeitliche Verlauf der Netzwechselspannung, an der der Einweg-Gleichrichter liegt. Der zeitliche Verlauf dieser Spannung ist, wie man sagt, sinusförmig.

③

Der zeitliche Verlauf der Spannung am Ladekondensator. Der Kondensator wird immer dann nachgeladen, wenn die Wechselspannung die Kondensatorspannung um die für die Ventildiode benötigte geringe Spannung übersteigt.



④

wert der Kondensatorspannung übersteigt. Er entlädt sich zwischendurch etwas, indem er zwischen zwei Nachladungen das an die Gleichrichterschaltung angeschlossene Gerät speist.

Der **Ladekondensator** dient als Speicher für elektrische Arbeit. Er nimmt beim Nachladen Arbeit auf und gibt diese zwischen zwei Ladestrom-Impulsen ab.

Je größer die Kapazität des Ladekondensators ist bzw. je schwächer man den Gleichrichter belastet, desto weniger schwankt die Kondensatorspannung. Im Leerlauffall nimmt sie den Wert an, der mit dem Wechselspannungs-Scheitelwert gegeben ist.

Die 220 V, die meistens als Netzwechselspannung in Frage kommen, betreffen nicht den **Scheitelwert** sondern den Effektivwert der Wechselspannung. Der **Effektivwert** einer Wechselspannung ist der Spannungswert, der z. B. für den Betrieb eines Heizwiderstandes, ebenso wie eine Gleichspannung mit diesem Wert, wirksam wird. Der Effektivwert der Netzwechselspannung beträgt etwa das 0,7-fache ihres Scheitelwertes. Demgemäß erhält man den Scheitelwert, indem man den Effektivwert durch 0,7 teilt oder, was etwa dasselbe bedeutet, indem man ihn mit 1,4 vervielfacht. So ergibt sich zu einem Effektivwert von 220 V ein Scheitelwert von rund 310 V. Da man an Überspannung mit etwa dem 0,1-fachen der Netzspannung rechnen muß, benötigt man für den an 220 V betriebenen Einweggleichrichter einen Ladekondensator, der 310 V · 1,1 $\approx$ 350 V aushält.

Die Sperrspannung an der Ventildiode

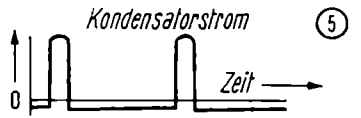
Man könnte zunächst meinen, für eine Gleichrichterschaltung, die an 220 V betrieben werden soll, dürfte eine Dioden-Sperrspannung von 250 V wohl ausreichen. Das Bild 4 aber läßt erkennen, daß das bei weitem nicht langt. Es zeigt: An der Diode kommt als Sperrspannung die Summe aus der Kondensatorspannung und der Wechselspannung in Betracht. Beide Spannungen wirken, wie auch aus Bild 2 ersichtlich, in Reihenschaltung auf die Ventildiode ein. Demgemäß schwankt die in Sperrichtung an der Ventildiode auftretende Spannung zwischen Null Volt und nahezu dem doppelten Scheitelwert der Wechselspannung, das sind bei 0,1-facher Überspannung

$$2 \times 310 \text{ V} \cdot 1{,}1 \approx 700 \text{ V}$$

Wer hätte das zuvor gedacht?

Nun zu den Strömen

Der Kondensator wird jeweils dann nachgeladen, wenn der Augenblickswert der Wechselspannung den Wert der Kondensatorspannung um die Dioden-Durchlaßspannung übersteigt. Dies ist immer nur während kurzer Zeitspannen der Fall. So kommt es während jeder Periode der Netzwechselspannung zu einem Stromimpuls von kurzer Dauer und hohem Kuppenwert (hoher Amplitude).



Der zeitliche Verlauf des Kondensatorstromes zu Bild 4. Es wechseln die Ladestromimpulse mit den Entladeströmen ab. Der zeitliche Mittelwert des Kondensatorstromes ist natürlich gleich Null.

Bild 5 zeigt den hierzu gehörenden zeitlichen Verlauf des Kondensatorstromes. Der Ladestrom hat hier das positive Vorzeichen. Demgemäß ist dem Entladestrom das negative Vorzeichen zugeordnet.

Damit die Stromimpulse nicht zu hoch ausfallen, was unmittelbar nach dem Einschalten bei noch nicht aufgeladenem Ladekondensator besonders der Fall sein würde, schaltet man zwischen das Netz und den Gleichrichter einen Schutzwiderstand. Er hat die Aufgabe, zu hohe Kuppenwerte der Stromimpulse zu verhindern.

Wichtigstes über Ventildioden und Einweg-Gleichrichter

- Die Ventildiode läßt den elektrischen Strom nur in einer Richtung durch. Sie sperrt ihn in der entgegengesetzten Richtung.
- Das Ventildioden-Schaltzeichen setzt sich aus einem Dreieck und einem Querstrich an der Spitze des Dreiecks zusammen.
- Das Dreieck zeigt — als Pfeilspitze aufgefaßt — die Strom-Durchlaßrichtung an.
- Dementsprechend bedeuten das Dreieck die Anode und der Querstrich die Katode der Ventildiode.
- In Gleichrichterschaltungen mit Ladekondensator ist die Ventildiode nur während kleiner Bruchteile der Dauer einer jeden zweiten Wechselspannungs-Halbwelle von Strom durchflossen.
- Die sich so ergebenden Stromimpulse treten deshalb mit verhältnismäßig hohen Stromwerten auf.
- Mit diesen Stromimpulsen wird der Ladekondensator periodisch nachgeladen.
- Die hierbei im Ladekondensator gespeicherte Arbeit dient zum Speisen des angeschlossenen Gerätes während der Zeiten zwischen zwei aufeinander folgenden Ladestrom-Impulsen.
- Weil die Pausenzeiten wesentlich länger sind als die Stromimpuls-Zeiten, tritt der Kondensator-Entladestrom hier mit wesentlich kleineren Werten auf als der Kondensator-Ladestrom.
- Der zeitliche Mittelwert des Kondensatorstromes ist (praktisch) gleich Null.
- Die Ventildiode muß hier einerseits diese Stromimpulse aushalten und anderseits Spannungen bis fast zum doppelten Scheitelwert der Wechselspannung sperren.
- Bei zeitlich sinusförmigem Verlauf einer Wechselspannung (oder auch eines Wechselstromes) ist der Scheitelwert etwa das 1,4-fache des Effektivwertes, der üblicherweise als Wert genannt wird.

Transistoren zum Schalten von Relais

Der Transistor

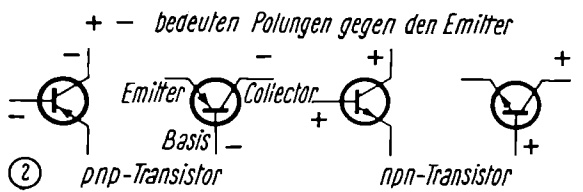
Der Transistor ist ein Halbleiter-Bauelement mit drei Anschlüssen. Mit zwei von diesen Anschlüssen fügt man ihn wie einen Einstell-Widerstand oder auch wie einen Schalter in einen Stromweg ein. Mit Hilfe des dritten Anschlusses steuert man den zwischen den beiden anderen Anschlüssen möglichen Leitwert.
Der Transistor ist somit ein Bauelement mit elektrisch steuerbarem Leitwert. Indem man ihn so steuert, daß sein Leitwert entweder sehr groß oder sehr klein ausfällt, kann man den Transistor als elektrischen Schalter verwenden. Das ist oft von Vorteil: Der als Schalter dienende Transistor benötigt zum Öffnen (d. h. zum **Sperren** oder zum Herstellen des **Sperrzustandes**) und zum Schließen (d. h. zum **Durchschalten** oder zum Herstellen des **Durchschaltzustandes**) nur sehr geringe Steuerleistungen und außerordentlich kleine Schaltzeiten. Seine Abmessungen sind gering. Er kann in jeder Lage eingebaut werden. Er hat keine mechanischen Kontakte, die beim Schalten prellen könnten. Auch sonst bewegt sich an ihm nichts. Schließlich nutzt er sich beim Schalten nicht ab.

Transistor-Arten

Es gibt außer den in der Elektronik am meisten verwendeten pnp- und npn-Transistoren auch noch die Feldeffekt-Transistoren mehrerer Arten — vor allem die FETs und die MOSFETs. Vorerst brauchen wir uns nur um die pnp- und npn-Transistoren zu kümmern. Mit pnp und npn werden die Zonenfolgen der Transistorsysteme gekennzeichnet. Die pnp-Transistoren muß man mit der den npn-Transistoren entgegengesetzten Polung speisen.
Das Schaltzeichen eines pnp-Transistors ist in **Bild 1** zu sehen. Der Kreis dient als Zeichen für die Umhüllung (Kunststoff-Umpressung oder Gehäuse). Der kurze, dicke Strich bedeutet die Steuer-Elektrode, die man als **Basis** bezeichnet. Die beiden anderen nur mit dünnen schräg liegenden Strichen angedeuteten Elektroden heißen **Collector** und **Emitter.** Die Pfeilspitze im Emitterstrich des Schaltzeichens kennzeichnet allgemeln den Emitter und charakterisiert außerdem mit ihrer Richtung die Zonenfolge:

① pnp-Transistor

Schaltzeichen eines pnp-Transistors. Die Richtung der Pfeilspitze in dem den Emitter bedeutenden Strich ist das Kennzeichen der Zonenfolge pnp und entspricht der konventionellen Stromrichtung.



② Die Schaltzeichen für pnp- und npn-Transistoren mit den hierzu gehörenden Spannungs-Polungen einander gegenübergestellt.

Bild 2 enthält links die pnp-Transistor-Schaltzeichen und rechts die npn-Transistor-Schaltzeichen mit Angaben über die Polung der Speisespannung gegen den Emitter:
Die Collector-Emitter-Speisespannung und die Basis-Emitter-Vorspannung sind für die pnp-Transistoren negativ und für die npn-Transistoren positiv.
Man fertigt die Transistor-Systeme aus Silizium (meistens npn-Transistoren) und seltener aus Germanium (fast immer pnp-Transistoren).

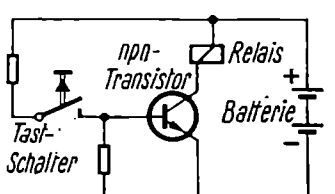
Silizium- und Germanium-Transistoren

Silizium-Transistoren kann man für höhere Spannungen bauen als Germanium-Transistoren. Sie vertragen höhere Temperaturen als diese und sperren besser (ihre **Reströme sind geringer).**

Germanium-Transistoren kann man mit noch etwas geringeren Beträgen der Basis-Emitter-Spannung durchschalten als Silizium-Transistoren. Außerdem verbleibt an ihnen im Durchschaltzustand eine Restspannung von kleinerem Betrag als an Silizium-Transistoren. Man verwendet daher Germanium-Transistoren vorzugsweise für niedrige Speisespannungen. Manchmal ergeben sich besonders einfache Schaltungen, wenn man für deren Bestücken npn- wie pnp-Transistoren gemeinsam verwendet.

Schaltung zum Steuern eines Relais über einen Transistor

Das **Bild 3** zeigt eine solche Schaltung. Diese enthält einen Transistor, ein Relais (das mit dem Transistor in Reihe geschaltet ist), einen **Tast-Schalter,** zwei Wider-



③ Schaltplan einer Schaltung, in der ein Relais über einen npn-Transistor mittels eines Tastschalters betätigt wird. Der Transistor ist bei nicht gedrücktem Tastschalter gesperrt und befindet sich bei gedrücktem Tastschalter im Durchschaltzustand.

stände und als Speisestromquelle eine Batterie. Wenn der Tast-Schalter gedrückt wird, nimmt der Transistor seinen Durchschaltzustand an. Dabei fließt der Strom durch den Transistor und folglich auch durch die Wicklung des Relais. Auf Grund dieses Stromes zieht das Relais seinen Anker an, womit es die unter dem Einfluß des Relais-Ankers stehenden (in Bild 3 nicht eingetragenen) Relais-Kontakte schließt bzw. öffnet. Läßt man die Taste los, so geht (der in das Tasten-Schaltzeichen als Dreieck eingetragenen Pfeilspitze gemäß) der Tast-Schalter in seine Aus-Stellung zurück. Damit ergibt sich der Sperrzustand des Transistors. Der Strom, der zuvor den Transistor und die Relaiswicklung durchflossen hat, geht jetzt praktisch auf Null zurück. Der Relais-Anker fällt ab. Die Relaiskontakte nehmen infolgedessen ihre Ruhestellung wieder ein.
Aus Bild 3 kann man entnehmen: Voraussetzung für den Durchschaltzustand des Transistors ist eine Basis-Emitter-Spannung mit derselben Polung wie die Collector-Emitter-Spannung. Dazu gehört auch ein Basisstrom.

Im Hinblick auf Elektronik-Schaltungen zu beachten:

Ein hierfür wichtiger Kennwert ist das **Collector-Basis-Stromverhältnis,** das auch **Gleichstrom-Verstärkungsfaktor** genannt wird. Man hat dafür das Formelzeichen *B*. Beispiel: $B = 50$ bedeutet, daß zu einem Collector-Gleichstrom von 120 mA ein Basis-Gleichstrom von 120 mA : 50 = 2,4 mA gehört.

Allgemein gilt für Silizium-npn-Transistoren,

- daß der **Sperrzustand** bis zu einer Basis-Emitter-Spannung von rund 0,7 V bestehen bleibt,
- daß bei darüber hinaus erhöhter Basis-Emitter-Spannung der **Durchlaßzustand** den Sperrzustand ablöst und
- daß bereits bei etwa 0,8 V der **Durchschaltzustand** erreicht ist.

Im Durchschaltzustand ist *B* auf einen geringen Wert abgesunken (z. B. auf 10).
Die Basis-Emitter-Spannung für die Grenze zwischen Sperr- und Durchlaßzustand nennt man **Schleusenspannung** oder **Schwellenspannung** des Transistors.
Für **Germanium-pnp-Transistoren** gelten statt 0,7 V etwa — 0,3 V und statt 0,8 V ungefähr — 0,5 V.
Im Durchschaltzustand ist die Collector-Emitter-Spannung nurmehr eine **Collector-Emitter-Restspannung** von wenigen Zehnteln Volt.

Wichtigstes über Transistoren, die schalten sollen

- Es handelt sich hier um die heute weitaus am meisten verwendeten Transistoren, nämlich um den pnp-Transistor und vor allem um den npn-Transistor.

- Jeder Transistor hat drei Anschlüsse: einen Emitter-Anschluß, einen Collector-Anschluß und einen Basis-Anschluß, sowie, wenn er nicht Bestandteil einer Integrierten Schaltung ist, ein Gehäuse, welches das Transistor-System umschließt.
- Statt mit einem Gehäuse aus Metall (früher auch aus Glas) umschlossen, kann das Transistor-System auch mit Kunststoff umpreßt sein **(Plastik-Transistor).**
- Durchlaß- bzw. Durchschaltzustand und Sperrzustand des Transistors beziehen sich auf die Strecke zwischen Emitter- und Collector-Anschluß.
- Der Durchlaßzustand des Transistors wird mit einer Basis-Emitter-Spannung bewirkt, deren Vorzeichen mit dem der Collector-Emitter-Spannung übereinstimmt.
- Als Durchschaltzustand des Transistors bezeichnet man dessen extremen Durchlaßzustand.
- Den Durchschaltzustand nennt man oft **„Übersättigungszustand** oder (weniger exakt) auch **Sättigungszustand** bzw. sagt man, der Transistor sei „in die **Sättigung** gesteuert".
- Im Durchschaltzustand herrscht am Transistor nurmehr eine geringe Collector-Emitter-Restspannung (wenige Zehntel Volt).
- Die mit der Collector-Emitter-Spannung gleich gepolte Basis-Emitter-Spannung bewirkt einen Basisstrom, weshalb man als die den Transistor steuernde Größe nach Belieben den Basisstrom oder die Basis-Emitter-Spannung ansehen darf.
- Die in den Emitterstrich des Transistor-Schaltzeichens eingetragene Pfeilspitze zeigt die konventionelle Richtung der den Transistor durchfließenden Ströme an.
- Hieraus ersieht man, daß für den Durchlaßzustand die Basis-Emitter-Spannung und die Collector-Emitter-Spannung beim npn-Transistor positiv und beim pnp-Transistor negativ sein müssen.
- Das Verhältnis des Collector-Gleichstromes zum hierzu gehörenden Basis-Gleichstrom nennt man Collector-Basis-Stromverhältnis.
- Dieses Verhältnis (Formelzeichen B) ist, sofern der Durchschaltzustand noch nicht erreicht wird, wesentlich größer als 1 (Größenordnung vielfach 100).
- Im Durchschaltzustand ist das Collector-Basis-Stromverhältnis bedeutend geringer.
- Der Sperrzustand besteht bei Basis-Emitter-Spannungen (dieselbe Polung wie die Collector-Emitter-Speisespannung) für Silizium-Transistoren bis etwa 0,7 V und für Germanium-Transistoren bis etwa 0,4 V.
- Der Durchschaltzustand beginnt, wenn die Beträge dieser Spannungen um etwa 0,1 V höher sind.
- Der zum Schalten dienende Transistor wirkt insofern wie ein Relais, als die das Schalten bewirkende Leistung (Basisstrom x Basis-Emitter-Spannung) sehr viel kleiner sein kann als die Schaltleistung (Collectorstrom x Speisespannung für den die Collector-Emitter-Strecke enthaltenden Stromkreis).

Z-Dioden für das Stabilisieren von Gleichspannungen

Was bedeutet hier das Z?

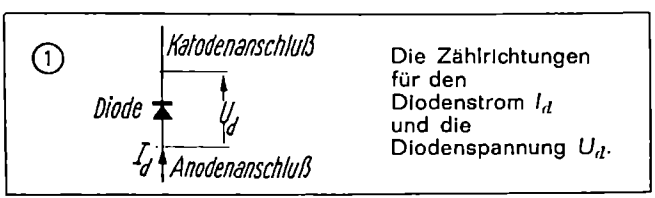
Das Z ist ein Überbleibsel. Früher nannte man die Dioden, um die es hier geht, **Zener-Dioden** nach einem Physiker Zener, der einen bestimmten Effekt entdeckte. Man war nämlich der Meinung, das Verhalten der Z-Dioden beruhe auf diesem Effekt. Das aber betrifft nur Z-Dioden für Spannungen bis etwa 6 V, während Z-Dioden für Spannungen von etwa 0,7 V, 1,4 V und 2 V da sogar ganz aus der Reihe tanzen.

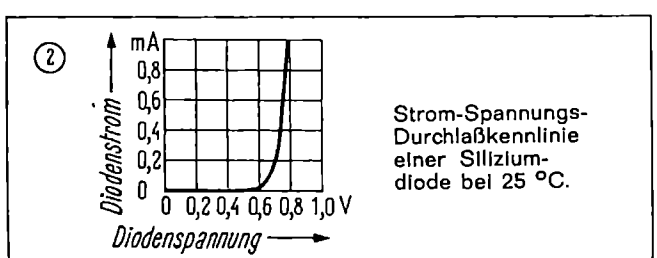
Diese unterscheiden sich von den Z-Dioden für mehr als (2 . . . 3) V insofern grundsätzlich, als man sie in der Durchlaßrichtung verwendet, während man bei Z-Dioden für höhere Spannungen das Sperrverhalten ausnutzt.

Also: Der Fachmann sagt heute nicht mehr „Zener-Diode" sondern „Z-Diode". Manchmal nennt er eine solche Diode auch **„Referenz-Diode"**. Das soll „Bezugsspannungs-Diode" bedeuten und darauf hinweisen, daß die Spannung an einer derartigen Diode bei Stromdurchgang einen bestimmten, vom Wert des Stromes nur wenig abhängenden Wert hat. Gelegentlich heißt die Z-Diode auch **Stabilisator-Diode.** Diese Bezeichnung wird aber meistens den Dioden für 0,7 V, 1,4 V und 2 V vorbehalten.

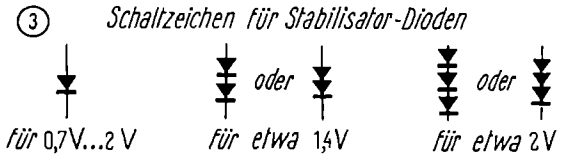
Z-Dioden für Spannungen von 0,7 V, 1,4 V und 2 V

Das sind im Grunde (für etwa 0,7 V) normale, in Durchlaßrichtung **(Bilder 1** und **2)** zu verwendende Silizium-Ventildioden bzw. (für ungefähr 1,4 V und rund 2 V) von einem gemeinsamen Gehäuse umschlossene Reihenschaltungen solcher Dioden. Man verwendet für diese Z-Dioden meistens keine besonderen Schaltzeichen. Manchmal aber setzt man doch das Schaltzeichen für

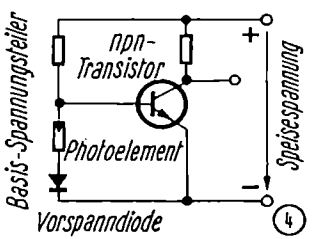




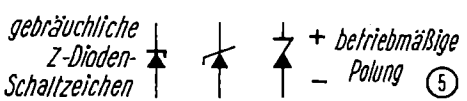
eine 1,4-V- oder eine 2-V-Z-Diode aus zwei bzw. drei Schaltzeichen zusammen **(Bild 3).**



Schaltzeichen der Z-Dioden für Spannungen bis etwa 2 V.



Eine Z-Diode (Stabilisatordiode) für 0,7 V zum Gewinnen einer Vorspannung für die Basis-Emitter-Strecke des Transistors. Die 0,7 V treten an der Diode aufgrund des über den Widerstand, das Photoelement und die Diode fließenden Stromes als Durchlaßspannung auf.



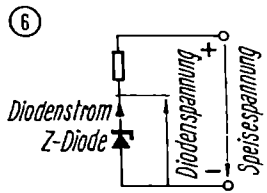
Für Z-Dioden, die in Sperrichtung verwendet werden [Spannungen über (2 . . . 3) V], hat man diese Schaltzeichen.

Stabilisierte Vorspannung

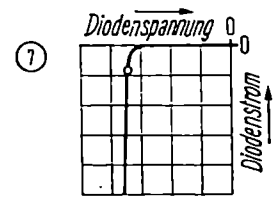
Bild 4 enthält den Schaltplan einer Schaltung, in der die Durchlaßspannung einer Z-Diode für etwa 0,7 V als Basis-Emitter-Vorspannung eines npn-Silizium-Transistors dient. Das beleuchtete Photoelement liefert nicht genug Spannung, um den Transistor in den Durchlaßzustand versetzen zu können. An der dafür notwendigen Spannung fehlen noch die 0,7 V der in den Basis-Spannungsteiler des Transistors eingefügten Diode.

Z-Dioden für höhere Spannungen als etwa 2 V

Bild 5 enthält die hierfür gebräuchlichen Schaltzeichen. Von ihnen wird hier das links eingetragene Zeichen weiterhin verwendet. Bei diesen Z-Dioden nutzt man aus, daß ihr Sperrstrom bei einem jeder Diode charakteristischen Spannungswert steil ansteigt (**Bilder 6** und **7**). Man verwertet natürlich erst den Sperrstrom-Bereich, in dem sich die Sperrspannung nunmehr wenig ändert — also z. B. ab dem Betrag, der in Bild 7 mit einem kleinen Kreis markiert ist. Die ungefähr zu diesem Strombetrag gehörende Sperrspannung wird in den Datenlisten der Z-Dioden als **Zenerspannung** angegeben. Man beachte, daß der Sperrstrom einer Diode ein Diodenstrom mit negativem Wert ist. Es empfiehlt sich, anhand des Bildes 6 hierüber nachzudenken und in diesem Zusammenhang auf das Bild 1, S. 52 zurückzugreifen.



Die Zählrichtungen für den Diodenstrom und die Diodenspannung der Z-Diode für mehr als 2 V ... 3 V stimmen ebenfalls mit denen der sonstigen Dioden überein.



Diodenspannung und Diodenstrom der in Sperrichtung betriebenen Z-Dioden haben demgemäß negative Werte. Das zeigt diese Kennlinie.

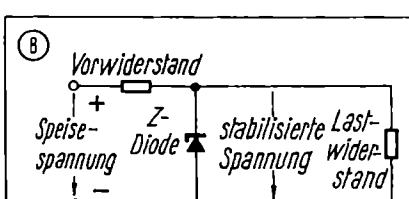
Zu stabilisierende Spannung höher als 2 V

Bild 8 veranschaulicht die dafür in Frage kommende Stabilisierungs-Schaltung. Sie ist zwischen den Anschluß an die Speisespannung und den zu speisenden Lastwiderstand eingefügt. Sie besteht aus einem Vorwiderstand und einer dem Lastwiderstand parallel geschalteten Z-Diode.

Eine Z-Diode hat die Eigenheit, daß ihr Sperrstrom nach Überschreiten eines ihrem Typ charakteristischen Wertes ihrer Sperrspannung einsetzt und nach einem kurzen Übergangsabschnitt nahezu gleichmäßig stark ansteigt. In dem Bereich des Sperrstrom-Steilanstieges gehören zu großen Stromänderungen nur sehr kleine Spannungsänderungen.

Die Speisespannung ist, wie das für eine gute Stabilisierung sein soll, in einer Schaltung nach Bild 8 wesentlich höher als die Spannung am Lastwiderstand. Somit entfällt hier auf den Vorwiderstand ein erheblicher Teil der Speisespannung.

Wenn die Spannung am Lastwiderstand (sei es wegen einer Zunahme der Speisespannung oder wegen Abnahme des Laststromes) ansteigt, erhöht sich auch die Spannung an der dem Lastwiderstand parallel geschalteten Z-Diode. In ihr bewirkt bereits ein geringer Anstieg der Sperrspannung eine unverhältnismäßig starke Zunahme des Sperrstromes. Der hiermit erheblich ansteigende Gesamtstrom der Parallelschaltung aus Lastwiderstand und Z-Diode bewirkt, daß auf den Vorwiderstand eine erhöhte Spannung entfällt. Aufgrund dessen wird der Spannungsanstieg am Lastwiderstand sehr klein gehalten.



Z-Diode zum Stabilisieren einer Gleichspannung (von wenigstens 3 V) parallel zum Lastwiderstand.

Zenerwiderstand

Der Zenerwiderstand der Z-Diode ist mit dem Verhältnis einer sehr kleinen Spannungs-Änderung zu der hierzu gehörenden (natürlich auch sehr kleinen Stromänderung) gegeben. Sein Wert ist in den Datenlisten für einen dort genannten Wert des Sperrstromes enthalten. Der Zenerwiderstand soll möglichst klein sein. Besonders kleine Zenerwiderstände haben Z-Dioden für Zenerspannungen um 6 V.

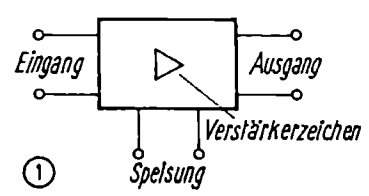
Wichtigstes über Z-Dioden

- Z-Dioden gibt es für niedrige Spannungen (um 0,7 V, um 1,4 V und um 2 V), vor allem aber für höhere Spannungen.
- Z-Dioden für niedere Spannungen werden in der Durchlaßrichtung verwendet. Dabei nutzt man aus, daß die Durchlaßspannung bei steigendem Wert des Durchlaßstromes nur wenig zunimmt.
- Z-Dioden sind heute durchweg Silizium-Dioden.
- Bei Z-Dioden für Spannungen ab etwa 3 V nutzt man die Tatsache aus, daß der Sperrstrom nach Überschreiten eines für den Z-Dioden-Typ charakteristischen Wertes der Sperrspannung fast abrupt steil ansteigt.
- Z-Dioden für solche Spannungen werden demgemäß mit der zu ihrer Sperrichtung gehörenden Polung angeschlossen.
- Steil-Anstieg des Sperrstromes bedeutet eine vom jeweiligen Sperrstrom nahezu unabhängige Sperrspannung.
- Diese Sperrspannung wird für einen hierzu festgelegten Sperrstromwert angegeben. Sie ist für den einzelnen Z-Dioden-Typ charakteristisch. Sie heißt Referenzen-Spannung oder auch noch Zener-Spannung.
- Wegen ihrer fast konstanten Sperrspannungswerte werden die Z-Dioden auch Referenz-Dioden genannt.
- Die frühere Bezeichnung „Zener-Diode" geht auf den (für den Sperrstrom-Steilanstieg von Zener-Dioden mit Zenerspannungen bis etwa 6 V maßgebenden) Zener-Effekt zurück. Dieser Effekt wurde von einem Physiker namens Zener entdeckt und erforscht.
- Z-Dioden gibt es hauptsächlich für Zener-Spannungen von etwa 3 bis 20 V. Sie werden aber auch für weit höhere Zener-Spannungen hergestellt.
- Die für die Z-Diode auch verwendete Bezeichnung „Referenz-Diode" ist ein Hinweis darauf, daß die Zener-Spannungen in Schaltungen oft als Bezugs-Spannungen (Referenz-Spannungen) ausgenutzt werden.
- Der (in den Datenlisten für jede Z-Diode außer der Z-Spannung und der höchstzulässigen Dioden-Belastung angegebene) Zener-Widerstand ergibt sich rechnerisch, wenn man eine in den Bereich des Sperrstrom-Steilanstiegs fallende kleine Sperrspannungs-Änderung durch die hierzu gehörende Sperrstrom-Änderung teilt.

Transistoren in Verstärkerstufe

Was heißt „Verstärker"?

Ein Verstärker ist eine Anordnung mit einem **Eingang,** auf den das zu verstärkende Signal einwirkt, einem **Ausgang,** an dem das verstärkte Signal (das auf höhere Leistung umgesetzte Eingangssignal) als Ausgangssignal verfügbar ist, und einer **Speisung,** d. h. einer Zufuhr elektrischer Gleichstrom-Leistung **(Bild 1).**
Jede solche Verstärkung besteht darin, daß im Verstärker wenigstens ein Teil der Speiseleistung unter dem Einfluß der Eingangs-Signalleistung gesteuert wird. Die Signal-Ausgangsleistung ist der dem Eingangssignal entsprechend gesteuerte Teil der Speiseleistung.



Verstärker als Block dargestellt. Das Dreieck ist das Zeichen, daß dieses Rechteck einen Verstärker bedeuten soll. Es zeigt — als Pfeilspitze aufgefaßt — vom Signal-Eingang auf den Signal-Ausgang des Schaltzeichens, das in dem Rechteck besteht.

Spannungsverstärkung? Stromverstärkung?

Bei einer Verstärkung, wie man sie in einem Verstärker vornimmt, handelt es sich stets um ein Erhöhen der Signalleistung „auf Kosten" einer Speiseleistung, d. h. stets um eine Leistungsverstärkung. Dennoch spricht man ziemlich oft von einer Spannungsverstärkung. Damit ist aber nicht die Spannung allein gemeint. Es soll damit nur ausgedrückt werden, daß die höhere Ausgangs-Signalleistung mit einer Signalspannung auftritt, die höher ist als die Signalspannung die zur Eingangs-Signalleistung gehört.
Dementsprechend trifft man mitunter auch auf den Ausdruck „Stromverstärkung". Er soll darauf hinweisen, daß die höhere Ausgangs-Signalleistung vorwiegend oder völlig auf einem Ausgangs-Signalstrom beruht, dessen Wert den des Eingangs-Signalstromes übersteigt.
Manchmal wird eine solche „Stromverstärkung" als **Widerstands-** oder **Impedanz-Wandlung** bezeichnet.
Man sollte im Zusammenhang mit einer Verstärkung diesbezüglich Vorsicht walten lassen: Eine Impedanzwandlung kann man nämlich auch ohne Verstärkung erreichen: Sie findet in jedem Transformator statt.
Impedanz ist der Fachausdruck für das Verhältnis eines

Wechselspannungswertes zu dem Wert des von ihm bewirkten Wechselstromes, also ein Ausdruck für den allgemeinen Wechselstrom-Widerstandswert.

Verstärkerstufe

Hohe Leistungsverstärkungen kann man nicht immer bequem auf einmal erreichen. In solchen Fällen verstärkt man stufenweise.
Beispiel: Eine Signalleistung soll auf das Tausendfache verstärkt werden. Das kann in zwei Stufen geschehen, wobei eine Leistungsverstärkung in der einen Stufe auf das Zwanzigfache und in der anderen Stufe auf das Fünfzigfache erreicht wird. Man kann aber auch etwa in drei Stufen jeweils auf die zehnfache Leistung verstärken.

Verstärkungsangaben in Dezibel

Zum Dezibel gibt es das Bel ebenso wie zum Dezimeter das Meter. Beginnen wir mit dem Bel: Ein **Bel** bedeutet das Zehnfache der Leistung. Eine Verstärkung auf das Hundertfache der Signalleistung wird deshalb mit zwei Bel gekennzeichnet.

Leistungsverstärkung auf das	10-	100-	1000-	10 000-fache
bedeutet	1 Bel	2 Bel	3 Bel	4 Bel

Nun zum Dezibel: Ein **Dezibel** entspricht einer solchen Leistungsverstärkung, daß mit zehn Dezibel gerade die zehnfache Verstärkung erreicht ist.
Verstärkung auf das Zehnfache wird in zehn Stufen (in zehn Schritten) erreicht, wenn hintereinander jeweils auf das (rund) 1,26-fache verstärkt wird:

$$1{,}26 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}26 \cdot 1{,}26 \approx 10$$

Hierzu eine kleine Tabelle:

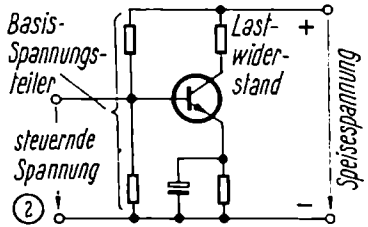
Dezibel	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Leistungsverhältnis ≈	1	1,26	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,3	7,9

Beispiel: 26 Dezibel bedeuten wegen der 20 dB = 2 Bel eine Verstärkung auf das 100-fache und wegen der weiteren 6 dB zusätzlich eine Verstärkung auf das 4-fache, also insgesamt eine Verstärkung auf das

$$100 \cdot 4 = 400\text{-fache}$$

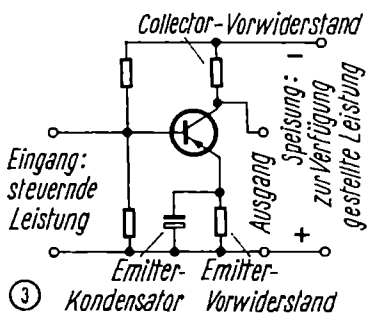
Zwei Transistor-Verstärkerstufen

Die **Bilder 2** und **3** zeigen zwei einstufige Transistor-Verstärker. Diese beiden Schaltungen unterscheiden sich so voneinander: Es liegen dem Bild 2 ein npn-Transistor und dem Bild 3 ein pnp-Transistor zugrunde. Dies sieht man an den Transistorschaltzeichen. Dazu



Mit einem npn-Transistor bestückte Verstärker-Endstufe. Am Basis-Spannungsteiler wird die für den Transistor benötigte Vorspannung abgegriffen.

Diese Vorspannung, der sich die steuernde Spannung überlagert, muß um einige Zehntel Volt höher sein als die Spannung, die aufgrund des Emitterstromes am Emitterwiderstand auftritt.



Hier handelt es sich um eine mit einem pnp-Transistor bestückte Verstärker-Vorstufe. Die Speisespannung ist demgemäß gegenüber dem Fall des Bildes 2 entgegengesetzt gepolt. Die steuernde Spannung ist wie dort eine Wechselspannung. Darauf deutet das Vorhandensein eines Emitterkondensators hin.

gehören entgegengesetzt gepolte Speise-Gleichspannungen. Außerdem handelt es sich in Bild 2 um einen Endverstärker der die gesteuerte Leistung an den Lastwiderstand liefert und in Bild 3 um einen Vorverstärker, an dessen Ausgang der Eingang einer weiteren Verstärkerstufe anzuschließen ist. Der Collector-Vorwiderstand ist beim Endverstärker der Lastwiderstand.

Im übrigen ergänzen sich die Beschriftungen beider Bilder gegenseitig. In Bild 2 ist auf die Spannungen hingewiesen, während in Bild 3 Ausgang und Eingang bezeichnet und die zu den Spannungen gehörenden Leistungen eingetragen wurden.

Statt Collector-Vorwiderstand und Emitter-Vorwiderstand sagt man häufig nur **Collector-Widerstand** und **Emitter-Widerstand,** wenn damit keine Mißverständnisse aufkommen können.

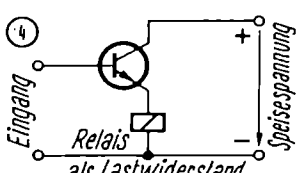
Der Spannungsteiler, an dem die Basis-Emitter-Spannung abgegriffen wird, nennt man **Basis-Spannungsteiler.**

Emitterschaltung, Collectorschaltung, Basisschaltung

Mit diesen Bezeichnungen deutet man jeweils die Transistor-Elektrode an, die dem Signal-Eingang und dem Signal-Ausgang gemeinsam ist.

In den Bildern 2 und 3 handelt es sich um Emitter-Schaltungen. Der **Emitter-Kondensator** stellt nämlich für die Signal-(Wechsel-)Spannungen einen Kurzschluß dar.

Das **Bild 4** zeigt hingegen eine Transistorstufe in Collectorschaltung. Dies versteht man, wenn man bedenkt, daß hier die Speisespannungs-Quelle für die Signal-(Wechsel-)Spannungen als Kurzschluß wirkt.
Betrachten wir nochmals Bild 4· Gesteuert wird hier so, daß die Eingangsspannung die Summe aus der Ausgangsspannung und der den Transistor selbst steuernden Basis-Emitter-Spannung ist. Das heißt: Die Eingangssignalspannung dieser Stufe hat einen um eine Kleinigkeit höheren Betrag als die am Relais auftretende Ausgangsspannung. Dafür aber ist der Relaisstrom wesentlich höher als der Eingangs-Signalstrom. Hier handelt es sich übrigens um eine Gleichstrom-Leistungsverstärkung. Diese kann man auch in der Weise auffassen, daß der Transistor als Schalter für den Relaisstrom dient.
Eine Schaltung wie sie mit Bild 4 veranschaulicht wird, bezeichnet man gelegentlich als **„Emitterfolger"**, weil der Ausgang der Schaltung am Emitter des Transistors liegt.



Das wesentliche einer Verstärkerstufe in Collectorschaltung. Diesmal ist es eine Schaltverstärkerstufe; Der Transistor dient als Schalter für den Relais-Erregerstrom.

In der Basisschaltung ist die Transistor-Basis dem Eingang und Ausgang der Stufe gemeinsam zugeordnet. Die Basisschaltung wird im allgemeinen nur für Signale mit sehr hohen Frequenzen verwendet. Deshalb kann sie in der Steuer- und Regeltechnik außer acht bleiben.

Steuerung der Transistors

Zum Steuern des Transistors braucht man eine ihn steuernde Eingangs-Signalleistung. Eine (elektrische) Leistung ist stets das Produkt aus einer Spannung und einem Strom. Hieraus folgt, daß man bezüglich des Steuerns eines Transistors sein Augenmerk entweder auf die Basis-Emitter-Spannung oder auf den **Basisstrom** lenken kann.
In Verstärkerschaltungen für Signale, die als Wechselspannungen auftreten, wird man in erster Linie die Basis-Emitter-Signal-Eingangsspannung betrachten.
In Fällen, in denen der Transistor als elektronischer Schalter dient, ist es häufig notwendig den steuernden Basisstrom zugrunde zu legen.
Man denke daran, daß ein Basisstrom nur fließt, wenn der Betrag der Basis-Emitter-Spannung den Schleusenspannungsbetrag überschritten hat.

Wichtigstes über Transistorstufen in Emitterschaltung

- Normalerweise ist die Transistor-Verstärkerstufe (wie in den Fällen der Bilder 2 und 3) eine Emitterschaltung.
- In der Emitterschaltung ist der Emitter-Anschluß sowohl dem Eingang wie auch dem Ausgang der Stufe zugeordnet.
- Eine Emitterschaltungs-Stufe wird mit der Basis-Emitter-Signalspannung gesteuert, wobei die Stufe eine, wenn auch geringe, Signalleistung aufnimmt.
- Der vom gesteuerten Strom durchflossene Widerstand liegt in der Emitterschaltung zwischen dem Collector des Transistors und dem dem Collector zugeordneten Pol der Speisespannung.
- Verstärkung bedeutet in der Elektronik: Eine von einer speisenden Gleichstromquelle zur Verfügung gestellte elektrische Leistung wird so von der Eingangs-Signalleistung gesteuert, daß am Ausgang eine dementsprechende, aber erhöhte Signalleistung abgegeben werden kann.
- Meistens wird die Verstärkung (wie in der Emitterschaltung dem Prinzip nach immer) so durchgeführt, daß die erhöhte Ausgangsleistung mit einer ebenfalls erhöhten Signalspannung auftritt.
- Der Transistor spielt bei der Verstärkung die Rolle eines von der Eingangssignalleistung (ihrem zeitlichen Verlauf gemäß) elektrisch beeinflußten Stellwiderstandes.
- Damit eine mit einem Transistor bestückte Verstärkerstufe das Eingangssignal getreu verstärken kann, muß sie unabhängig von der Steuerung einen Gleichstrom (als Ruhestrom) durchlassen.
- Hierzu ist eine Basis-Emitter-Vorspannung notwendig, deren Wert kleiner ist als der der Speisespannung, die aber dieselbe Polung hat wie die Collector-Emitter-Gleichspannung.
- Zum Gewinnen der Basis-Emitter-Vorspannung dient im allgemeinen ein Basis-Spannungsteiler, der meistens unmittelbar an die Speisespannung angeschlossen ist.
- Der Emitter-Vorwiderstand ist für das Verstärken an sich unnötig. Er dient zum Stabilisieren des Transistor Ruhestromes.
- Damit der Emitter-Vorwiderstand auf die Verstärkung eines mit einer Wechselspannung gegebenen Signals keinen Einfluß ausüben kann, überbrückt man ihn für ein solches Signal, indem man parallel zu ihm einen Kondensator legt.
- Als Emitterkondensator kommt häufig (für Niederfrequenz fast immer) ein Elektrolytkondensator in Betracht.

Transistoren in Gleichspannungskonstanthaltern

Aufgabe eines Spannungs-Konstanthalters

Ein Spannungskonstanthalter soll auch bei Speisespannungs-Schwankungen die Klemmenspannung einer sich ändernden Last konstant halten. Dabei wird normalerweise zugelassen, daß die Last-Klemmenspannung kleiner sein darf als der Mindestwert der Speisespannung.

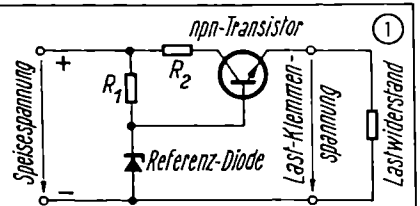
Zwei Möglichkeiten zum Lösen dieser Aufgabe

Man benötigt zum Konstanthalten der Last-Klemmenspannung eine Regelschaltung, in der ein steuerbarer Widerstand sowie eine Referenzspannungs-Anordnung enthalten sind. Die Referenzspannung ist notwendig als Vergleichsbasis für den Spannungswert auf dem die Last-Klemmenspannung gehalten werden soll. Mit dem steuerbaren Widerstand müssen die Schwankungen der Last-Klemmenspannungen ausgeglichen werden.
Man kann nun den steuerbaren Widerstand der Last parallel schalten und vor dieser Parallelschaltung einen Vorwiderstand mit festem Wert anordnen oder den steuerbaren Widerstand als Vorwiderstand verwenden.

Im ersten dieser beiden Fälle wird der Leitwert des steuerbaren Widerstandes erhöht, wenn die Speisespannung steigt oder der Laststrom sinkt. Meistens macht man sich hierbei die Sache recht einfach: Man legt parallel zur Last ein Bauelement, dessen Spannung bei steigendem Wert des durchfließenden Stromes nur wenig zunimmt. Solche Bauelemente sind Z-Dioden, Glimmröhren und VDRs (spannungsabhängige Widerstände).
Im anderen Fall wird bei steigender Speisespannung bzw. bei sinkendem Laststrom der Vorwiderstand erhöht. Diese Möglichkeit wird bei Gleichspannungs-Konstanthaltern meistens ausgenutzt und ist deshalb im folgenden allein berücksichtigt.

Forderungen an den steuerbaren Vorwiderstand

Der höchste Vorwiderstandswert muß ausreichen, um die Last-Klemmenspannung bei dem höchsten in Betracht gezogenen Wert der Speisespannung und dem Laststrom-Mindestwert noch auf ihren Sollwert herunterzudrücken.
Mit einem Laststrom-Mindestwert gleich Null wäre dies an sich unmöglich. Kommen sehr geringe Laststrom-Mindestwerte vor oder könnte der Laststrom gar auf Null absinken, so legt man parallel zur Last einen als **Vorlast** dienenden Widerstand. Der ihn durchfließende Strom addiert sich zum Laststrom und setzt damit den



Schaltplan eines einfachen Gleichspannungs-Konstanthalters. Damit an der Z-Diode die Referenzspannung auftritt, muß die Z-Diode von einem Sperrstrom durchflossen sein. Dieser Strom geht über den Widerstand R_1.

Mindestwert des den steuerbaren Vorwiderstand durchfließenden Stromes hinauf. Für das folgende sei dieser Summenstrom als Laststrom aufgefaßt.
Das Maximum der im Vorwiderstand in Wärme umgesetzten Leistung ergibt sich, wenn Speisespannung und Laststrom gemeinsam ihre Maximalwerte annehmen. Diese Leistung — nämlich den Überschuß der maximalen Speisespannung über die konstant zu haltende Last-Klemmenspannung multipliziert mit dem maximalen Laststromwert — muß der Vorwiderstand aushalten.

Als steuerbarer Vorwiderstand ein Transistor

Der als Vorwiderstand eingefügte Transistor wird mit einer Basis-Emitter-Spannung gesteuert. Wenn es sich hierbei um einen Silizium-Transistor handelt, kommt für dessen Steuern ein Basis-Emitter-Spannungsbereich zwischen rund 0,7 V und etwas mehr als 0,8 V in Betracht:

Bei 0,7 V erfolgt der Übergang vom Sperrbereich in den Durchlaßbereich und
bei etwas mehr als 0,8 V ist der Transistor bereits durchgeschaltet, wozu am Transistor eine **Collector-Emitter-Restspannung** von nurmehr 0,1 V ... 0,2 V gehört (hierzu gehört das Minimum des Transistor-Durchgangswiderstandes).

Die Schaltung

Bild 1 zeigt die Schaltung eines Gleichspannungs-Konstanthalters, in dem ein npn-Transistor als steuerbarer Teil des Vorwiderstandes dient. Der Regeltechniker hat für diesen Transistor in der vorliegenden Regelschaltung den allgemeinen Ausdruck **Stellglied.** An der Referenz-Diode steht die bereits erwähnte Vergleichsspannung zur Verfügung.
Die Basis-Emitter-Strecke des Transistors steht unter dem Einfluß der Spannungsdifferenz zwischen der konstanten Spannung an der Referenz-Diode und der Last-Klemmenspannung. Diese Spannungsdifferenz beträgt ganz ungefähr 0,8 V. Sie bewirkt den Durchlaßzustand des Transistors.
Mit ihren Änderungen wird der Widerstand der Collector-Emitter-Strecke des Transistors so beeinflußt, daß die Last-Klemmenspannung weitgehend konstant bleibt: **Sinkt** die Last-Klemmenspannung ab, so bedeutet das eine Zunahme der als positive Basis-Emitter-Spannung

wirkenden Spannungsdifferenz. Die Folge ist eine Abnahme der Transistor-Durchlaßspannung. Hiermit wird das Sinken der Last-Klemmenspannung in engen Grenzen gehalten.
Steigt die Last-Klemmenspannung an, so ergibt sich ein geringerer Wert der Basis-Emitter-Spannung und deshalb ein höherer Wert der Transistor-Durchlaßspannung, was dem Anstieg der Last-Klemmenspannung entgegenwirkt.

Speisespannungswert

Voraussetzung für die Funktion der Schaltung ist eine genügend hohe Speisespannung. Sie muß wenigstens so hoch sein, daß ihr kleinster Augenblickswert bei dem höchsten in Betracht gezogenen Laststrom die Last-Klemmenspannung um die Summe aus der dabei im Falle des Strom-Höchstwertes an dem Widerstand R_2 auftretenden Spannung und etwa 1 V (für den Transistor) übersteigt.
Der Widerstand R_1 muß als Referenz-Dioden-Vorwiderstand den diese Diode durchfließenden Strom auf ein höchstzulässiges Maß begrenzen. Der Widerstand R_2 dient zum Schutz des Transistors gegen zu hohen Laststrom bzw. gegen die damit gegebene Transistor-Verlustleistung. Beim Abschalten des Lastwiderstandes, d. h. im Leerlauffall, bliebe der Transistor stromlos und könnte so die Ausgangsspannung nicht beeinflussen. Ist dies im Leerlauf gefordert, so legt man, wie bereits angedeutet, als **„Vorlast"** zwischen die Ausgangsklemmen einen Widerstand mit hohem Wert (etwa 100mal so hoch wie der Lastwiderstands-Nennwert).

Wichtigstes über Transistoren als steuerbare Vorwiderstände

- Transistoren werden nicht nur als Schalter oder Verstärker-Elemente sondern auch als Stellwiderstände verwendet.
- Als Stellwiderstand dient der Widerstand der Collector-Emitter-Strecke des Transistors.
- Beeinflußt wird der Stellwiderstandswert mit der Basis-Emitter-Spannung bzw. mit dem Basisstrom.
- Man erreicht mit geringen Änderungen der Basis-Emitter-Spannung bzw. des Basisstromes erhebliche Änderungen des Widerstandswertes der Collector-Emitter-Strecke.
- Günstig für die Regelung ist ein Transistor mit einem hohen Wert des Verhältnisses des Collector-Gleichstromes zum Basis-Gleichstrom.
- An Transistor-Grenzwerten sind hier zu beachten: Die höchstzulässigen Werte des Collectorstromes, der Collector-Emitter-Spannung und der Transistor-Verlustleistung (Maximalwert des Produktes aus Collectorstrom und hierzu gehörender Collector-Emitter-Spannung).

Glimmröhren in Kippschaltung

Schaltzeichen einer Glimmröhre mit Anode (Plusanschluß) und Katode (Minusanschluß).

Schaltzeichen einer Glimmröhre bzw. Glimmlampe mit zwei Elektroden, deren jede die Anode oder die Katode sein kann.

Glimmröhren

Eine Glimmröhre hat einen Glaskolben. Dieser ist mit Edelgas unter niedrigem Druck gefüllt und enthält zwei Elektroden. Mit **Elektrode** meint man einen elektrisch leitenden Teil, der den Anschluß z. B. an einen leeren Raum, an einen Raum, gefüllt mit Gas, das sich unter niedrigem Druck befindet, oder an eine elektrisch leitende Flüssigkeit ermöglicht.

Bei der Glimmröhre bestehen die Elektroden aus Metall. Die in der industriellen Elektronik verwendeten Glimmröhren sind größtenteils für eine bestimmte Polung der anzulegenden Spannung gebaut. Man hat bei diesen Glimmröhren darauf zu achten, daß die eine Elektrode (**Anode** genannt) gegen die andere Elektrode (die **Katode**) eine positive Spannung annimmt **(Bild 1).**

Viele Glimmröhren haben zwei gleiche Elektroden. Diese Glimmröhren können beliebig gepolt verwendet werden **(Bild 2).**

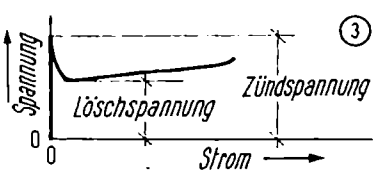
Die Bezeichnung „Glimmröhre" rührt daher, daß das verdünnte Gas beim Stromdurchgang ein **Glimmlicht** (ein schwaches Licht) ausstrahlt.

Zusammenhang zwischen Spannung und Strom einer Glimmröhre

Zuvor sei bemerkt, daß man eine Glimmröhre nur über einen Vorwiderstand an Spannung legen darf. Der Vorwiderstand muß das Zustandekommen eines übermäßigen Glimmröhrenstromes verhindern. (Glimmlampen, die unmittelbar angeschlossen werden dürfen, sind mit eingebautem Vorwiderstand versehen.)

Wenn man eine Glimmröhre in Reihe mit einem vorerst sehr hohen Vorwiderstand an eine Gleichspannung anlegt und diese Spannung von Null aus allmählich ansteigen läßt, passiert zunächst überhaupt nichts. Erst wenn diese Spannung einen ziemlich hohen Wert erreicht hat, setzt der Stromdurchgang schlagartig ein. Mit ihm tritt das Glimmen auf. Während zuvor die ange-

legte Gleichspannung ungeschmälert an der Glimmröhre auftrat, entfällt bei Stromdurchgang ein Teil der Spannung auf den Vorwiderstand. Deshalb springt die Spannung an der Glimmröhre beim Einsetzen des Stromes auf einen geringeren Wert zurück.
Wenn man nun den wegen des sehr hohen Vorwiderstandes vorerst recht schwachen Strom ansteigen läßt, indem man den Widerstandswert des Vorwiderstandes vermindert, sinkt die Spannung an der Glimmröhre anfangs noch weiter ab, um anschließend schwach anzusteigen.
In **Bild 3** ist dieser Spannungsanstieg stark übertrieben. Bei immer weiter herabgesetztem Vorwiderstandswert wird der Spannungsanstieg allmählich intensiver. Damit ist der für den normalen Betrieb vorgesehene Strombereich bereits überschritten.
Sorgt man dafür, daß die Glimmröhrenspannung auch nur minimal unter den in Bild 3 mit Löschspannung bezeichneten Wert absinkt, so fällt die Glimmröhre in ihren Sperrzustand zurück und ihr Glimmen verlischt.
Dieser Zusammenhang zwischen Spannung und Strom bedeutet, daß zu großen Stromänderungen kleine Spannungsänderungen gehören. Deshalb kann man Glimmröhren in ähnlicher Weise zum Stabilisieren von Gleichspannungen verwenden wie Z-Dioden. Die den Zenerspannungen der Z-Dioden entsprechenden Glimmröhrenspannungen liegen je nach Glimmröhrentyp etwa zwischen 60 V und 130 V.



Spannungs-Strom-Kennlinie einer Glimmröhre mit den zwei wichtigsten Spannungen. Übertrieben sind hier der Strombereich für das Absinken der Zündspannung auf die Löschspannung und der Spannungsanstieg von der Löschspannung aus bei weiter ansteigendem Strom.

Fachausdrücke

Die Spannung, bei der der Glimmstrom einsetzt, wird (wohl wegen des Glimmlichtes) **Zündspannung** genannt. Die tiefere Spannung, die bei steigendem Strom nur ganz allmählich ansteigt, nennt man — wahrscheinlich ebenfalls wegen des damit verbundenen Glimmlichts — **Brennspannung.**
Die zum Aussetzen des Stromes gehörende **Löschspannung** haben wir bereits zur Kenntnis genommen.
Der Brennspannungsbereich ist nur gering. Die Löschspannung stellt den Mindestwert der Brennspannung dar. Der Brennspannugsbereich gilt für den ausnutzbaren **Glimmstrombereich.** Dieser erstreckt sich von einem Glimmstromwert, der etwas über dem zur Löschspannung gehörenden Wert liegt, bis zu dem Wert, bei

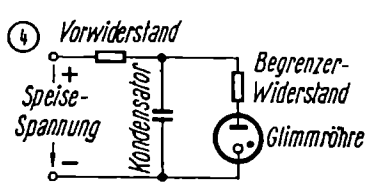
dem die Spannung stärker anzusteigen beginnt. Er wird oft **Regelbereich** genannt. (Das gilt nicht für Spezial-Glimmröhren wie z. B. für Ziffernanzeigeröhren.)

Die Bezeichnung „Kippschaltung"

Unter einer Kippschaltung versteht man eine Schaltung, die beim Über- oder Unterschreiten eines Spannungs- oder Strom-Wertes sprunghaft aus einem Zustand in den anderen der beiden für sie möglichen Zustände übergeht. Diese beiden Zustände sind mit bestimmten Strom- bzw. Spannungswerten gekennzeichnet.

Kippschaltungen mit dreierlei Verhaltensweisen

Es gibt Kippschaltungen, die, einmal in Gang gebracht, bei gleichbleibender Speisespannung und unter konstanten äußeren Bedingungen zwischen beiden für sie möglichen Zuständen periodisch kippen. Mit solch einer Kippschaltung werden wir uns hier gleich bekannt machen. Man bezeichnet Kippschaltungen mit derartigem Verhalten als **astabil** oder nennt sie **Multivibratoren. Astabil** heißt hier: Keiner der beiden Zustände ist von Dauer.



Kippschaltung mit Glimmröhre, Widerstand und Kondensator. Als Kippschaltungswiderstand wirkt nur der Vorwiderstand.

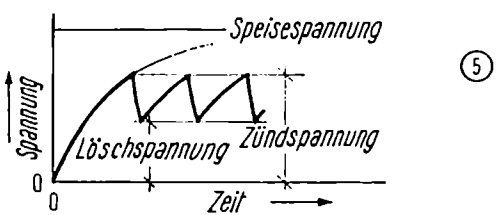
Andere Kippschaltungen kann man aus ihrem Ruhezustand in den anderen Zustand kippen lassen, aus dem sie nach Ablauf einer kürzeren oder längeren Zeitspanne in ihren Ruhezustand zurückkippen. Sie nennt man **monostabil** (nur ein Zustand, der von Dauer sein kann, nämlich der Ruhezustand).

Die dritte Art von Kippschaltungen tut nichts von sich aus. Kippt man eine solche Kippschaltung, indem man auf sie z. B. mit einem Spannungs-Impuls einwirkt, in einen ihrer beiden möglichen Zustände, so verbleibt sie in diesem Zustand bis man das Kippen in den anderen Zustand veranlaßt. Hier sind somit beide Zustände stabil. Man hat dafür den Ausdruck **bistabile Kippschaltung** oder das Wort **Flipflop,** das die zwei stabilen Zustände mit den beiden Silben Flip und Flop andeutet.

Glimmröhren-Kippschaltung

Die Glimmröhren-Kippschaltung **(Bild 4)** wird an einer Gleichspannung betrieben. Sie enthält als wesentliche Teile außer der Glimmröhre einen Parallel-Kondensator und einen Vorwiderstand. Der Begrenzer-Widerstand soll lediglich einen übermäßig hohen Glimmröhrenstrom

verhindern. Er hat für die Funktion der Kippschaltung keine prinzipielle Bedeutung.
Wenn die Schaltung an die Gleichspannung gelegt ist, wird der Kondensator über den Vorwiderstand aufgeladen. So erreicht er, falls die speisende Gleichspannung höher ist als die Zündspannung der Glimmröhre, schließlich die Glimmröhren-Zündspannung.
Beim Erreichen der Zündspannung kippt die Glimmröhre in ihren Durchlaßzustand, wobei ihre Spannung auf einen wesentlich geringeren Wert, die Brennspannung, absinkt. Hierbei entlädt sich der Kondensator über die Glimmröhre und den damit in Reihe liegenden Begrenzwiderstand. Die Kondensatorspannung sinkt infolgedessen ab.



5

Zeitlicher Verlauf der Spannung am Kondensator einer Schaltung gemäß Bild 4. Wegen der Form der Linie, die diesen Verlauf veranschaulicht, werden ein solcher Verlauf Sägezahn-Verlauf und die Spannung Sägezahnspannung genannt.

Kurz nachdem die Kondensatorspannung so den Wert der Glimmröhren-Löschspannung unterschritten hat, hört der Glimmlampenstrom auf zu fließen.
Die Glimmröhre fällt in ihren Sperrzustand zurück. Damit kann das Aufladen des Kondensators beginnen.
Bild 5 zeigt beispielsweise den sich in der Schaltung nach Bild 4 ergebenden zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung. Die Kondensator-Entladezeiten (Absinken der Kondensatorspannung) sind in Wirklichkeit meistens wesentlich kürzer als die Kondensator-Ladezeiten (Ansteigen der Kondensatorspannung), weil man für den Begrenzerwiderstand normalerweise einen sehr viel kleineren Wert wählt als für den Vorwiderstand. In Bild 5 wurde die Dauer der Entladezeiten übertrieben. Wegen der kurzen Entladezeiten kann man die Kondensator-Ladezeit (Spannungs-Anstiegzeit) ungefähr gleich der Dauer einer Periode des Spannungsverlaufs setzen. Eine **Periode** eines zeitlichen periodischen Verlaufs ist die Zeitspanne zwischen einem beliebigen Anfangs-Zeitpunkt und dem Zeitpunkt, in dem die Wiederholung des Verlaufs in gleicher Weise beginnt.

Die Kondensator-Ladezeit T folgt mit

U_b Speise-Gleichspannung
U_z Glimmröhren-Zündspannung
U_l Glimmröhren-Löschspannung
C Kondensator-Kapazität
R Vorwiderstandswert

für den Fall, daß U_b ein Mehrfaches von $(U_z—U_l)$ ist, näherungsweise so:

$$T \approx C \cdot R \cdot \frac{U_z—U_l}{U_b—0{,}5 \cdot (U_z+U_l)}$$

Ein Zahlenbeispiel:
Vorwiderstand $R = 100\ \text{k}\Omega$, Kondensator $C = 4\ \mu\text{F}$, Speisespannung $U_b = 250\ \text{V}$, Zündspannung $U_z = 130\ \text{V}$, Löschspannung $U_l = 90\ \text{V}$. Daraus folgt:

$$T \approx 4 \cdot 10^{-6}\ \text{F} \cdot 1 \cdot 10^{5}\ \Omega \cdot \frac{130\ \text{V}—90\ \text{V}}{250\ \text{V}—0{,}5 \cdot (130+90\text{V})}$$

$$= 0{,}4\ \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V}} \cdot \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot \frac{40\ \text{V}}{250\ \text{V}—110\ \text{V}} = 0{,}4\,\text{s} \cdot \frac{40}{140} \approx 0{,}114\ \text{s}$$

Wichtigstes über Glimmröhren

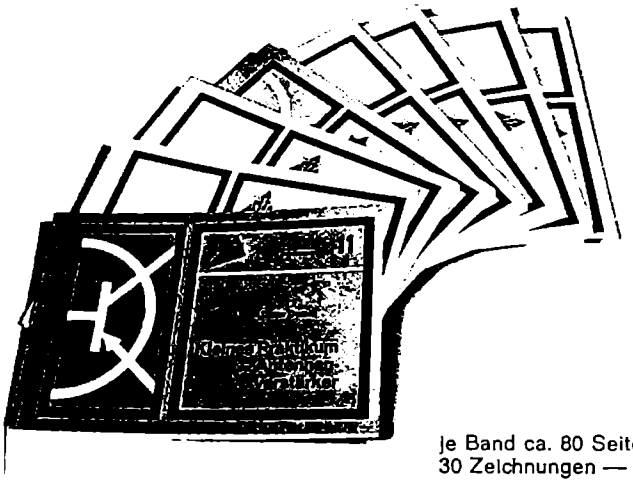
- Der Glaskolben einer Glimmröhre ist mit Edelgas unter geringem Druck gefüllt und enthält zwei Elektroden, zwischen denen ein Glimmstrom möglich ist.
- Es gibt ungepolte und gepolte Glimmröhren. Bei gepolten Glimmröhren nennt man die betriebsmäßig gegen die andere Elektrode positive Elektrode Anode und die andere (negative) Elektrode Katode.
- Der Glimmstrom setzt ein, wenn die positive Anoden-Katoden-Spannung ihren Zündwert erreicht.
- Dabei werden die relativ wenigen in dem verdünnten Gas stets enthaltenen Ladungsträger (Elektronen und Ionen) so stark beschleunigt, daß sie weitere Gasteilchen ionisieren. Hiermit sind nun für einen Stromdurchgang ausreichend viele Elektronen (als frei bewegliche Ladungsträger) verfügbar.
- Der so ermöglichte Strom macht sich mit einem Glimmlicht bemerkbar. Er muß begrenzt werden. Andernfalls würde er für die Glimmröhre unzulässig hohe Werte annehmen.
- Um den eine Glimmröhre durchfließenden Strom zu begrenzen, schaltet man in Reihe mit ihr stets einen Widerstand.
- Der Wert dieses Vorwiderstandes ergibt sich rechnerisch, wenn man den Überschuß der Speisespannung über die Lösch- oder Brennspannung durch den einzuhaltenden Wert des Glimmröhrenstromes teilt.
- Der Glimmstrom fällt aus, sowie man die Brennspannung an der Glimmröhre unter ihren Löschwert senkt.
- Der Löschwert der Glimmröhrenspannung liegt nur wenig unter dem höchsten Brennwert dieser Spannung.
- Die Brennspannung der Glimmröhre steigt bei zunehmendem Strom innerhalb eines größeren Strombereiches nur wenig an.
- Der Betriebsstrombereich einer Glimmröhre hat als untere Grenze einen Wert, der etwas oberhalb des zur Löschspannung gehörenden Wertes liegt.
- Die obere Grenze des Betriebsstrombereiches ist mit dem Beginn eines stärkeren Spannungs-Anstieges gegeben.

Sachverzeichnis

Abgleichwiderstand 23
Abgriff 23
Abgriff, einstellbar 24
Abschalt-Überspannung 48
Achse (Kennlinienbild) 14
Ampere 10
Amperesekunde 36
Anlaß-Heißleiter 28
Anode (Diode) 52
Anode (Glimmröhre) 72
Arbeit 11
Astabile Kippschaltung 74
Ausgang 64
Ausgangswiderstand 21
Basis 56
Basisschaltung 66
Basis-Spannungsteiler 66
Basisstrom 67
Batterie 13
Bel 65
Belag (Kondensator) 37
Belastbarkeit 17, 27
Belasteter Spannungsteiler 25
Betrag 11
Bistabile Kippschaltung 74
Brennspannung 73
CdS-Photowiderstand 31
Collector 56
Collector-Basis-Stromverhältnis 58
Collectorschaltung 66
Collectorwiderstand 66
Conductanz 18
Dezibel 65
Dielektrikum 37
Diode 48, 60 (Z-Diode)
Dioden-Kennlinie 52
Diodenspannung 52
Diodenstrom 52
Drehwiderstand 25
Durchlaßrichtung 52
Durchlaßspannung 52
Durchlaßzustand 15, 58
Durchschalten 15, 56
Effektivwert 54
Eingang 64
Einstellbarer Abgriff 24
Einstellwiderstand 23
Einweggleichrichtung 52
Eisenwasserstoffwiderstand 29
Elektrode 72
Elektrolyt 37
Elektrolytkondensator 37, 53
Elektromotorische Kraft 14
Elektronisches Schalten 15
Element 9
Emitter 56
Emitterfolger 67
Emitter-Kondensator 66
Emitterschaltung 66
Emitter-Vorwiderstand 66
EMK 14
Empfindlichkeitsspektrum 32
Energie, elektrisch 36
Energie, magnetisch 46
Entlade-Zeitkonstante 42
Ersatzschaltung 45
Fallend exponentiell einstellbar 26
Farad 36
Festwiderstand 23
Flipflop 74
Flußrichtung 52
Foto siehe Photo
Freilaufdiode 48
Fremdgeheizter Heißleiter 29
Galvanische Zelle 9
Germanium-Diode 52
Germanium-Transistor 57, 58
Gleichrichter 52
Gleichspannungs-Konstanthalter 69
Gleichstromleistung 11
Gleichstromquelle 9, 14
Gleichstrom-Verstärkungsfaktor 58
Glimmlicht 72
Glimmröhre 72
Glimmröhren-Kippschaltung 74
Glimmstrombereich 73
Glühlämpchen als Kaltleiter 29
Halbleiter 27
Halbweg-Gleichrichter 53
Halbwelle 53
Heißleiter 27
Heißleiter, fremdgeheizt 29
Henry 45

Hintereinanderschaltung 21
Hochvolt-Elektrolytkondensator 37
Impedanz 64
Impedanzwandler 64
Impulsdauer 42
Impulspause 42
Induktivität 44
Infrarotstrahlung 33
Innenwiderstand 21
Kaltleiter 27, 29
Kaltwiderstand 27
Kapazität 35
Katode (Diode) 52
Katode (Glimmröhre) 72
Kennlinienbild 14
Keramik-Kondensator 27
Kiloohm 19
Kilovolt 16
Kippschaltung 74
Klemmenspannung 11
Kollektor siehe Collector
Kompensations-Heißleiter 28
Kondensator 35, 37
Kondensator-Belag 37
Kondensator-Entladung 35, 40
Kondensator-Ladung 35, 40
Konventionelle Stromrichtung 10
Kunststoff-Kondensator 37
Kurzschlußfall 14
Kurzschlußstrom 14
Lade-Kondensator 54
Lade-Zeitkonstante 42
Lampe 10
Leerlauffall 14
Leerlaufspannung 14
Leistung 11
Leiter 20
Leitfähigkeit 20
Leitung 15, 20
Leitwert 18
Lichtfühler 34
Linearer Drehwiderstand 25
Liniennetz (Kennlinienbild) 15
Lösch-Diode 51
Löschspannung 73
Logarithmischer Drehwiderstand 26
Magnetfeld 44
Magnetische Energie 44, 46
Megohm 19
Meß-Heißleiter 28
Meßwiderstand 19
Metallpapierkondensator 37
Mikroampere 52
Mikrofarad 37
Milliampere 16
Millivolt 16
Milliwatt 16
Minuspol 10
Monostabile Kippschaltung 74
Multivibrator 74
Nanoampere 52
Nanofarad 37
Nanometer 32
Nebeneinanderschaltung 21
Nebenschalten 20
Nebenwiderstand 20
Newid 27
Niedervolt-Elektrolytkondensator 37
npn-Transistor 57
NTC-Widerstand 27
Nullpunkt (Kennlinienbild) 15
Öffnungsfunken 44
Ohm 17
Ohmscher Widerstand 17
Ohmsches Gesetz 21
Papierkondensator 37
Parallelschaltung 13
Parallelwiderstand 20
Periode 75
Photoelektrisches Bauelement 43
Photoelektronisches Bauelement 34
Photoleiter 31, 33
Photowiderstand 31
Pikofarad 37
Plastik-Transistor 59
Pluspol 10
pnp-Transistor 57
Polung 10
Potentiometer 24, 26
Quelle elektrischer Leistung 9, 15
RC-Glied 39
Rechteck-Impuls 40
Referenz-Diode 60
Referenz-Spannung 60
Regelbereich (Glimmröhre) 73
Regel-Heißleiter 29

Reihenschaltung 13
Relative spektrale Empfindlichkeit 32
Relativwert 32
Resistanz 18
Restspannung 58, 70
Reststrom 57
Rückwärtsrichtung 52
Sägezahnspannung 75
Sättigung 59
Sättigungszustand 59
Schalter 15
Schaltzeiten 50
Scheitelwert 54
Schleusenspannung 58
Schwellenspannung 58
Siemens 18
Silizium-Diode 52
Silizium-Transistor 57, 58
S-Kennlinie 26
Spannung 10
Spannungs-Konstanthalter 69
Spannungspfeil 10
Spannungs-Strom-Kennlinie 14
Spannungsteiler 25
Spannungsverstärkung 64
Spannungs-Zählrichtung 10
Speisung 64
Spektral 32
Spektrum 32
Sperren 15
Sperrichtung 52
Spezifischer Widerstand 20
Sperrspannung 54
Sperrwiderstand 52
Sperrzustand 15, 58
Stabilisator-Diode 60
Stabilisierte Spannung
(mit Transistor) 69
Stabilisierte Spannung
(mit Z-Diode) 61, 62
Stabilisierte Vorspannung 61
Stellglied = Einstellwiderstand 23
Stellwiderstand 70
Strom 10
Stromkreis 15
Strommenge 35
Strompfeil 10
Stromquelle 9
Stromquellen-Kennlinie 14
Stromstärke 10
Stromverstärkung 64
Strom-Zählrichtung 10
Stufe (Verstärker) 65
Stufenschalter 24
Stufenwiderstand 24
Tastschalter 57
Temperaturfühler 28
Temperatur-Grenzwert 31
Themistor 27
Thernewid 27
Träges Verhalten 33
Transistor 56, 64, 69
Transistor als Schalter 56
Transistor als Stellwiderstand 69
Transistor-Arten 56
Transistor im Verstärker 64
Übersättigungszustand 59
Überspannung 48
Übertemperatur 32
Urspannung 14
Ventil-Diode 52
Verbindungspunkt (Schaltplan) 14
Verstärker 64
Verstärkerstufe 65
Volt 10
Voltsekunde 45
Vorlast 69, 71
Vorwärtsrichtung 52
Vorwiderstand 19
Vorwiderstand, einstellbar 27
Watt 11
Wattsekunde 11
Wert 11
Widerstand 17
Widerstands-Wandlung 64
Widerstandswert 17
Zählpfeile 10
Zählrichtungen 10
Z-Diode 60
Zeitkonstante (LC) 46
Zeitkonstante (RC) 42
Zelle 13
Zenerdiode 60
Zenerspannung 61
Zenerwiderstand 63
Zündspannung 73



Je Band ca. 80 Seiten,
30 Zelchnungen — DM 6.—

Die Relhe wird fortgesetzt

Wir schicken Ihnen gerne
kostenlos ein Verzeichnis
aller in dieser Reihe
erschienenen Schaltungen

TOPP

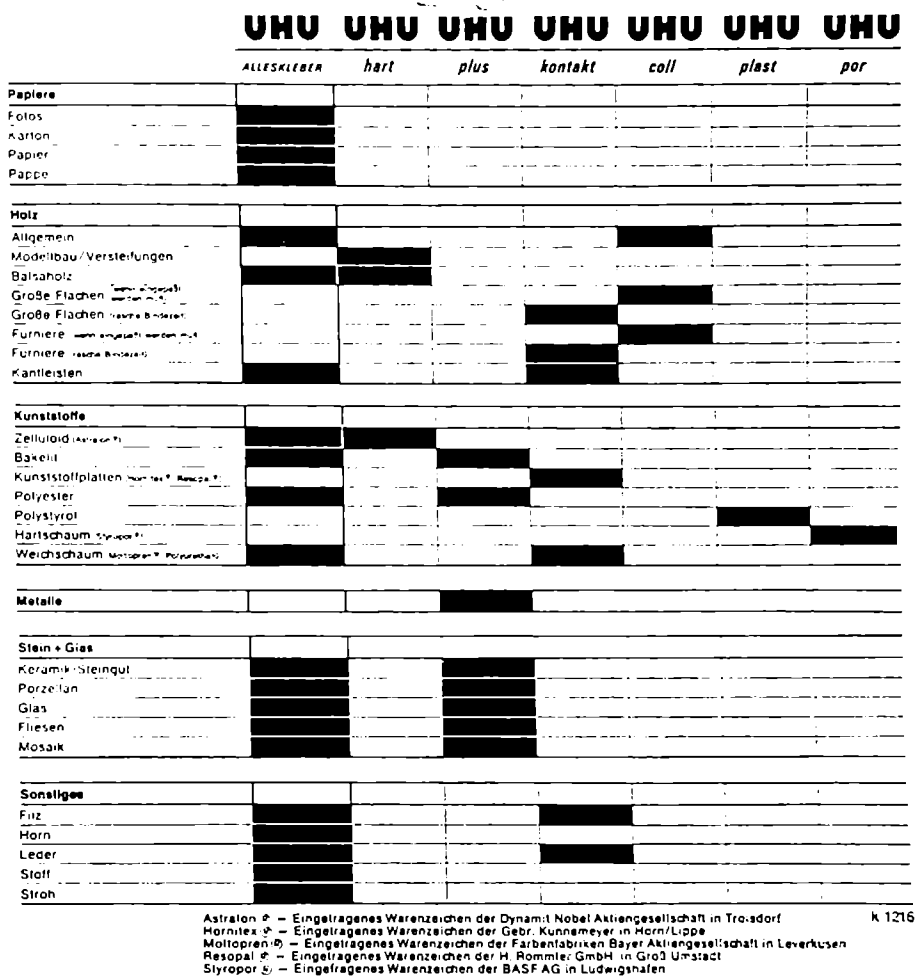
Verlag Frech

Stuttgart-Botnang

Schaltungen

Teil 1 30 Transistor-Schaltungen
Teil 2 35 Transistor-Schaltungen
Teil 3 36 Transistor-Schaltungen
Teil 4 Meßgeräte mit Transistoren
Teil 5 Transistoren — neu angewandt
Teil 6 37 Transistor-Schaltungen
Teil 7 Schaltungen mit Thyristoren
Teil 8 Fernsteuerschaltungen
Teil 9 NF.-Verstärker
Teil 10 38 Transistor-Schaltungen
Teil 11 Kleines Praktikum der Antennenverstärker
Teil 12 Schaltungen mit Fotowiderständen
Teil 13 Schaltungen mit Fotozellen
Teil 14 Schaltungen mit Fotohalbleitern
Teil 15 Schaltungen der Digital-Elektronik
Teil 16 Sonderschaltungen der NF.-Technik I
Teil 17 Sonderschaltungen der NF.-Technik II
Teil 18 Schaltungen mit dem Thyratron PL 21
Teil 19 Schalten und Verstärken mit Transistoren
Teil 20 Messungen an Halbleitern
Teil 21 Auto - Elektronik
Teil 22 Relaisschaltungen
Teil 23 Experimente mit integrierten Schaltungen
Teil 24 Feldeffekt-Transistor-Schaltungen
Teil 25 Schaltungen mit Dioden

Was klebe ich womit am besten?



Astralon ® – Eingetragenes Warenzeichen der Dynamit Nobel Aktiengesellschaft in Troisdorf
Hornitex ® – Eingetragenes Warenzeichen der Gebr. Kunnemeyer in Horn/Lippe
Moltopren ® – Eingetragenes Warenzeichen der Farbenfabriken Bayer Aktiengesellschaft in Leverkusen
Resopal ® – Eingetragenes Warenzeichen der H. Rommler GmbH in Groß Umstadt
Styropor ® – Eingetragenes Warenzeichen der BASF AG in Ludwigshafen

k 1216

Im Falle eines Falles klebt UHU wirklich alles

Diesen UHU-Fahrplan gibt es auch im Taschenformat.
Fordern Sie ihn bitte beim UHU-Werk an. UHU-Werk H.u.M. Fischer · 758 Bühl (Baden)

TOPP

Dieses Büchlein vermittelt mehr an Elektronik-Wissen und schafft ein höheres Maß an persönlicher, enger Bekanntschaft mit den Besonderheiten der Elektronik-Bauelemente als sein Umfang ahnen läßt. Es spricht den Leser in einer solchen Weise an, daß ihm das Studium des von jeglichem Ballast frei gehaltenen Textes keine Mühe abverlangt, daß er sich vielmehr an der Klarheit und Lebendigkeit der Darstellung sowie an der äußerst sorgfältigen Bearbeitung des Stoffes freuen wird. Über die für die Praxis wesentlichen Daten und Eigenschaften der hier behandelten Elektronik-Bauelemente hinaus gewinnt der Leser aus dem Büchlein ganz nebenbei ein solides Wissen um die Grundlagen der Elektronik überhaupt.